



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



**Impermeabilização e Isolamento Térmico de
Coberturas em Terraço,
Sistemas Construtivos e Patologias**

JOSÉ ANTÓNIO RODRIGUES LAGES ALVES

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil

Orientador:

Eng.º Jorge Manuel Grandão Lopes

Júri:

Presidente: Eng.º Filipe Manuel Vaz Pinto Almeida Vasques

Vogais:

Eng.ª M.ª Manuela da Silva Eliseu Ilharco Gonçalves

Eng.º Jorge Manuel Grandão Lopes

Janeiro de 2013

RESUMO

O texto desenvolvido nos capítulos seguintes apresenta-se dividido em 6 partes:

O Capítulo 1 contém a introdução ao tema do trabalho apresentado, bem como os seus objectivos.

No Capítulo 2 faz-se a apresentação dos tipos de coberturas em terraço, classificando-as de acordo com a sua utilização, os materiais utilizados e os métodos de construção, incluindo o posicionamento das camadas. São referidos ainda os requisitos funcionais da cobertura e apresentadas as soluções construtivas mais frequentes.

Seguidamente, no Capítulo 3, descrevem-se as propriedades químicas, físicas e mecânicas dos materiais utilizados como isolamento térmico, salientando-se ainda a natureza e origem das matérias primas e os modos de produção e aplicação. São também referidas as exigências de qualidade, de acordo com os critérios da UEAtc (Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction).

Faz-se ainda neste capítulo uma análise ao fenómeno da condensação resultante da presença do vapor de água no interior dos edifícios, sendo que este é a principal causa do aparecimento de variadas patologias nos edifícios. É assim analisado um leque de soluções correntes de isolamento térmico e seu comportamento em presença da humidade, resultante das actividades realizadas no interior dos compartimentos. Refere-se também a importância da inércia higroscópica dos revestimentos, na redução da humidade relativa interior.

No Capítulo 4, procede-se à descrição dos vários métodos de classificação de sistemas de impermeabilização, indicam-se os materiais mais vulgarmente usados na impermeabilização e referem-se as soluções construtivas nos pontos singulares da cobertura.

Posteriormente, no Capítulo 5 é feita uma apresentação das causas e tipos de anomalias que conduzem à presença de humidade, provocada por infiltração de água ou por condensação, em superfície corrente e pontos singulares.

No Capítulo 6, são apresentadas de uma forma sucinta os factores determinantes a um bom funcionamento de uma cobertura em terraço, ao nível do projecto, construção e utilização.

São, ainda, deixadas algumas sugestões que poderão levar ao desenvolvimento de trabalhos complementares do ora apresentado.

Palavras chave

- Coberturas planas ou em terraço;
- Isolamento Térmico;
- Impermeabilização;
- Patologias;
- Condensação;
- Infiltração.

ABSTRACT

WATERPROOFING AND THERMAL INSULATION ON FLAT ROOFS - SYSTEMS AND PATHOLOGIES

The text developed in the following chapters is divided into 6 parts:

Chapter 1 contains the introduction to the theme of the work presented, as well as their objectives.

Chapter 2 presents the flat roof types, its classification according to their use, the materials used and the construction methods, including the positioning of the layers concerned. Also references to roof functional requirements and more frequent constructive solutions are mentioned.

Next, in Chapter 3, are described the chemical, physical and mechanical properties of materials used in thermal insulation and references to nature and origin of raw materials, and the methods of production and application. The quality requirements according to UEAtc (Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction) are also referred.

An analysis of the phenomenon of condensation resulting from the existence of water vapor inside the building, is also made in this chapter, as water vapour is the reason for several pathologies. A range of standard solutions of thermal insulation and its behavior in the presence of moisture resulting from the activities carried out within the compartments are also included in the chapter 3. References are also made to the importance of hygroscopic inertia of covering materials, in moderating the inside relative humidity variation.

In Chapter 4, proceeds to the description of the various classification methods of waterproofing systems, are indicated materials most commonly used in sealing and refer to the singular points in the constructive solutions of the flat roof.

Subsequently, in Chapter 5 a presentation is given of the causes and types of defects that lead to the presence of moisture caused by water seepage or condensation, in normal

surface and at singular points.

In Chapter 6, are presented in a succinct way the determinants to a proper functioning of a flat roof, including design, construction and use.

A few suggestions that may lead to the development of further work that could complement the one presented here are also presented

KEYWORDS

- Flat roofs;*
- Thermal insulation;*
- Waterproofing;*
- Pathologies;*
- Condensation;*
- Water infiltration.*

ÍNDICE

RESUMO	1
PALAVRAS-CHAVE	2
ABSTRACT	3
KEYWORDS	4
Cap. 1 – INTRODUÇÃO	
1.1 – Considerações preliminares	11
1.2 - Objectivo da dissertação	12
Cap. 2 – CARACTERIZAÇÃO DAS COBERTURAS EM TERRAÇO	
2.1 – Exigências funcionais	13
2.2 – Classificação	16
2.2.1 – Pendente	16
2.2.2 – Acessibilidade	17
2.2.3 – Revestimentos de impermeabilização	20
2.2.4 – Posicionamento do isolante térmico	21
2.2.5 – Tipo de protecção do revestimento de impermeabilização	25
2.2.6 – Estrutura resistente	28
2.3 – Constituição e função das camadas numa cobertura em terraço	29
Cap. 3 – ISOLAMENTOS TÉRMICOS EM COBERTURAS EM TERRAÇO	
3.1 – Considerações preliminares	35
3.2 – Classificação dos materiais	35
3.3 – Regras de qualidade dos isolantes como suporte de impermeabilização	37
3.4 – Principais características	38
3.5 - A condensação em coberturas em terraço	43
3.5.1 – Análise dos fenómenos	43
3.5.2 - Avaliação de soluções correntes de coberturas em terraço	44
3.5.3 – Conclusões	50

Cap. 4 - MATERIAIS E SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

4.1. - Classificação de sistemas	52
4.2. - Materiais utilizados em sistemas de impermeabilização	54
4.2.1 – Sistemas tradicionais	54
4.2.1.1 – Aplicados “in situ” em camadas múltiplas de emulsão betuminosa	54
4.2.1.2 - Com produtos prefabricados em camadas múltiplas de membranas betuminosas	54
4.2.2 - Sistemas não tradicionais	55
4.2.2.1 - Aplicados “in situ”	55
4.2.2.2 - Com produtos prefabricados	55
4.3. - Soluções construtivas em pontos singulares da cobertura	56
4.3.1 – Remate da impermeabilização em platibandas e paredes emergentes	58
4.3.1.1 – Coroamento de platibandas	59
4.3.2 – Vedação do contorno de peças que atravessam a cobertura	60
4.3.3 – Remate em apoios de equipamentos	61
4.3.4 – Dispositivos de drenagem de águas pluviais	61
4.3.5 – Juntas de dilatação	62
4.3.6 – Vedação sob soleiras de vãos abrindo sobre a cobertura	63

Cap. 5 – ANOMALIAS EM IMPERMEABILIZAÇÕES DE COBERTURA EM TERRAÇO

5.1 – Considerações preliminares.....	67
5.2 – Classificação dos principais casos de anomalia em coberturas em terraço...	68
5.3 – Análise das principais causas de anomalias em coberturas em terraço	69
5.3.1 – Anomalias em superfície corrente	69
5.3.1.1 - Fissuração do revestimento de impermeabilização	69
5.3.1.2 - Perfuração do revestimento da impermeabilização	70
5.3.1.3 - Empolamentos	71
5.3.1.4 - Acção de factores atmosféricos	72
5.3.2 – Anomalias em pontos singulares	77
5.3.2.1 – Anomalias em platibandas e paredes emergentes	77
5.3.2.2 – Anomalias em juntas de dilatação	78
5.3.2.3 – Anomalias em pontos de evacuação de águas pluviais	79
5.3.2.4 - Outras anomalias	82

Cap. 6 – CONCLUSÃO

6.1 – Conclusões do TFM	83
6.2 – Perspectivas para trabalhos futuros	83

BIBLIOGRAFIA 85

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Cobertura não acessível (ou de acessibilidade limitada)	17
Fig. 2 - Cobertura acessível a veículos	18
Fig. 3 - Cobertura acessível a pessoas	18
Fig. 4 - Exemplo de cobertura ajardinada, método intensivo simples	19
Fig. 5 - Exemplo de cobertura ajardinada, método intensivo complexo	19
Fig. 6 - Exemplo de cobertura ajardinada, método intensivo extensivo	20
Fig. 7 - Isolante como suporte de impermeabilização	22
Fig. 8 - Isolante sob a camada de forma	22
Fig. 9 - Isolamento sobre a impermeabilização	23
Fig. 10 - Isolamento sobre o tecto falso	24
Fig. 11 - Isolamento projectado (preparado “in situ”)	24
Fig. 12 - Exemplo de impermeabilização com protecção leve	25
Fig. 13 - Exemplo de impermeabilização com protecção pesada em seixo rolado	26
Fig. 14 - Exemplo de impermeabilização com protecção pesada em réguas de madeira	26
Fig. 15 - Exemplo de impermeabilização com protecção pesada em lajeta flutuante	27
Fig. 16 - Exemplo de impermeabilização com protecção pesada em ladrilho cerâmico	27
Fig. 17 - Exemplo de impermeabilização com protecção pesada em lajeta térmica	27
Fig. 18 - Exemplo de estrutura resistente rígida contínua	28
Fig. 19 - Exemplo de estrutura resistente rígida descontínua	28
Fig. 20 - Exemplo de estrutura resistente flexível	28
Fig. 21 - Chaminé de ventilação	32
Fig. 22 - Várias formas de apresentação de perlite	39
Fig. 23 - Argila expandida	39
Fig. 24 - Granulado de poliestireno expandido	39
Fig. 25 - Aglomerado de cortiça expandida	40
Fig. 26 - Lã de rocha em manta e placa	41
Fig. 27 - Placas de poliestireno expandido extrudido	41
Fig. 28 - Acessório de fixação (tap it)	42
Fig. 29 - Cobertura plana tipo	44
Fig. 30 - Influência da espessura do isolante na temperatura superficial interior	49
Fig. 31 - Gráfico psicrométrico	51
Fig. 32 - Exemplo de remate em parede emergente	58
Fig. 33 - Exemplo de remate em parede emergente (2)	59
Fig. 34 - Exemplo de remate de impermeabilização em platibanda	59
Fig. 35 - Capeamento prefabricado em betão para remate em platibanda ...	60
Fig. 36 - Capeamento metálico para remate em platibanda	60
Fig. 37 - Exemplo de remate em tubo emergente	60
Fig. 38 - Exemplo de remate em apoio de equipamento com base envolvida em betão	61

Fig. 39 - Exemplo de remate em dispositivo de drenagem vertical de águas pluviais	62
Fig. 40 - Exemplo de remate em junta de dilatação	63
Fig. 41 - Utilização de capeamento na protecção de juntas de dilatação sobreelevadas	63
Fig. 42 - Exemplo de remate de impermeabilização em soleira (adaptado)	64
Fig. 43 - Recomendações para aplicação de impermeabilização em soleira de nível	65
Fig. 44 - Utilização de caleira com grelha superior em soleira de nível	65
Fig. 45 - Arrastamento dos elementos da protecção pesada, por acção do vento	69
Fig. 46 - Exemplo de fissuração	70
Fig. 47 - Arrancamento da impermeabilização	73
Fig. 48 - Deficiente escoamento resultante de má conformação da pendente	74
Fig. 49 - Degradação da impermeabilização resultante da presença prolongada da água	74
Fig. 50 - Formação de pregas na impermeabilização	76
Fig. 51 - Descolamento da junta da impermeabilização	76
Fig. 52 - Deslizamento do remate em murete	77
Fig. 53 - Anomalias junto a embocaduras de tubos de queda	80
Fig. 54 - Deficiente manutenção (limpeza), originando acumulação de detritos na zona de menor cota da cobertura	81

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese das propriedades de alguns isolantes	42
Quadro 2 - Determinação de U para d = 30 mm	46
Quadro 3 - Determinação de U para d = 40 mm	46
Quadro 4 - Determinação de U para d = 60 mm	47
Quadro 5 - Determinação de U para d = 80 mm	47
Quadro 6 - Determinação de Θ_i e w_s	48

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações preliminares

O consumo de energia para manter temperaturas de conforto nos edifícios (por aquecimento ou arrefecimento) é cerca de 25% do consumo total [19].

No entanto quando termicamente bem isolado, um edifício é energeticamente mais eficiente e, portanto, mais económico, garantindo uma maior uniformidade na temperatura e, assim, um ambiente mais confortável exigindo despesas de manutenção mínimas. Ao contrário, os equipamentos de aquecimento e refrigeração apresentam custos de manutenção mais elevados.

Num edifício, os factores que determinam o tipo e a quantidade de isolamento térmico a utilizar incluem o clima a que está sujeito, as suas características arquitectónicas e as soluções e o tipo do processo construtivo utilizado. Isto porque na selecção do isolamento térmico é necessário entrar em linha de conta com a relação custo-eficiência, que por sua vez, está condicionada às suas propriedades e à facilidade de instalação e manutenção.

Muitas vezes são utilizados vários materiais para se alcançar uma solução que apresente os melhores resultados, e existem mesmo marcas que combinam diferentes tipos de isolamento num único produto.

As propriedades térmicas dos materiais isolantes utilizados actualmente em construção são conhecidas e podem ser medidas com precisão. Por isso, a quantidade de calor transmitido (fluxo) através da combinação de materiais pode facilmente ser calculada.

Um outro ponto relacionado com a qualidade de construção é o projecto das soluções de cobertura onde está integrado o sistema de impermeabilização.

E, se algumas décadas atrás as opções disponíveis para uma impermeabilização eram poucas, hoje existe uma grande variedade de produtos de diferentes origens e técnicas específicas de aplicação.

1.2 – Objectivo da Dissertação

Tendo como referência o caso particular das coberturas de baixa inclinação, ditas planas ou em terraço, e a necessidade cada vez mais premente da redução de consumos energéticos aliados a um maior conforto térmico e também a uma maior qualidade do ar interior, pretende-se, com o presente trabalho, definir as principais soluções construtivas que integram isolamento térmico e sistema de impermeabilização.

Como a inadequada escolha ou aplicação dessas soluções pode conduzir à ocorrência de anomalias, faz-se também um resumo das principais patologias (bem como as suas causas) normalmente associadas a uma deficiente ou mesmo inexistente concepção (ou projecto), ou a uma incorrecta utilização ou manutenção das áreas impermeabilizadas. Procura-se também fazer uma análise crítica dessas soluções ou das anomalias a elas associadas.

Assim, é objectivo deste trabalho reunir num único documento a informação sobre as diversas soluções construtivas de uma cobertura em terraço, para facilitar a escolha da solução mais adequada à utilização e promover a pormenorização do projecto e a sua correcta construção para minimizar a ocorrência de anomalias.

CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DAS COBERTURAS EM TERRAÇO

2.1 – Exigências funcionais

A cobertura em terraço de um edifício é o conjunto de todos os elementos, não só os estruturais, desde o tecto do espaço subjacente à superfície exposta às intempéries, dispostos em camadas horizontais ou próximo desta posição que, pelas suas características, permitem dar satisfação às principais exigências a que devem satisfazer as coberturas.

As exigências funcionais definem-se não só para as coberturas como um todo mas também para os componentes que as constituem, nomeadamente as camadas de isolamento térmico e impermeabilização (de ora em diante, por simplificação, a camada de isolamento térmico será apenas referida como *isolamento* ou *isolante*).

As principais exigências funcionais das coberturas são as que a seguir se indicam:

- exigências de segurança;
- exigências de habitabilidade;
- exigências de durabilidade;
- exigências de economia.

As exigências de segurança devem ser satisfeitas pelas características da estrutura resistente. Já a qualidade das camadas de isolamento e impermeabilização, bem como o seu suporte, contribuem bastante para as de habitabilidade. Por fim, o tipo de protecção da impermeabilização é importante para a satisfação das exigências de durabilidade.

Quanto às exigências funcionais dos revestimentos de impermeabilização, estão agrupadas de acordo com as Directivas Gerais UEAtc (Directivas da União Europeia para a Apreciação Técnica da Construção), para a homologação de revestimentos de impermeabilização de coberturas, em quatro classes:

- exigências de segurança;
- exigências de aptidão de uso;
- exigências relativas à conservação das qualidades;
- exigências relativas à manutenção e reparação.

a) Exigências de segurança

Para além da verificação da segurança em relação às cargas permanentes e sobrecargas de utilização normal, deverá em particular ser verificada a segurança em relação às seguintes três situações distintas:

- Efeitos de sucção do vento (exigências relativas à acção do vento);
- Comportamento em relação ao fogo (exigências contra risco de incêndio);
- Composição físico-química e libertação de compostos tóxicos (exigências de saúde).

b) Exigências de aptidão ao uso

Estas exigências são consequência da necessidade de resistência dos materiais da cobertura, nomeadamente os dos sistemas de impermeabilização à utilização diária, nomeadamente:

- Impermeabilidade às águas provenientes do exterior (garantia de estanquidade à água);
- Qualidade no acabamento das superfícies (exigências de aspecto);
- Composição química estável, insolúveis em água ou álcalis (exigências relativas à ocorrência de manchas);
- Resistência mecânica (exigências relativas à conservação da resistência mecânica).

c) Exigências relativas à conservação das qualidades

A característica mais importante numa impermeabilização é a estanquidade à água, devendo esta manter-se (nos casos correntes) pelo menos durante dez anos. Para isso os materiais que a compõem devem satisfazer ainda os seguintes parâmetros:

- Efeitos dos agentes do meio ambiente:
 - Resistência ao vento (perda de aderência, arrancamento);
 - Temperatura (deve manter as características para variações de temperatura significativas, sendo referido valores entre -20°C e +80°C);
 - Radiação solar (resistência à radiação ultra-violeta e infra-vermelha);
 - Água (proveniente da chuva, gelo, humidade e condensação);
 - Agentes químicos (gases atmosféricos e óleos em terraços de parques de estacionamento automóvel, e ácidos em coberturas-jardim).
- Compatibilidade entre materiais (particularmente entre as camadas contíguas);
- Acções microbiológicas (resistência a fungos, bolores, bactérias e criptogâmicas);
- Acções macrobiológicas (resistência a plantas, insectos, pássaros e pequenos animais, particularmente roedores);
- Deformações da estrutura resistente (deformações térmicas - alongamentos/ /encurvadura – e carregamento da estrutura);
- Cargas de serviço (resistência ao punçoamento estático e dinâmico);
- Circulação de pessoas e veículos (necessidade de protecção da impermeabilização).

Sob a influência dos factores mencionados, o revestimento de impermeabilização deve conservar o conjunto das suas propriedades, de forma satisfatória, durante um período considerado pelo menos de 10 anos, claramente para revestimentos de impermeabilização com protecção ligeira, ou superior, para revestimentos com protecção pesada.

d) Exigências relativas à manutenção e reparação

Para se garantir a qualidade de uma impermeabilização durante o tempo de vida expectável, é necessário que sejam garantidas as exigências relativas a:

- 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.

2.2 – Classificação

Existem vários parâmetros segundo os quais se podem agrupar as diferentes tipologias de coberturas em terraço. Indicam-se, de seguida, os mais relevantes:

- Pendente;
- Acessibilidade;
- Revestimento de impermeabilização;
- Posicionamento do isolamento térmico;
- Tipo de protecção do revestimento de impermeabilização;
- Estrutura resistente (ou de suporte).

2.2.1 – Pendente

A pendente influencia de várias formas a concepção de coberturas em terraço, pois dela depende a acessibilidade à cobertura, o sistema de impermeabilização a adoptar e o tipo de protecção a utilizar.

Dizem-se em terraço, as coberturas com uma inclinação nula ou próxima desse valor. Correntemente, o valor mínimo situa-se perto de 1%, podendo ir até cerca de 15%.

De acordo com um dos Guias da UEAtc (Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la Construction), as coberturas estão organizadas em quatro classes:

- Classe I
Coberturas cuja pendente origina estagnação da água e permite a aplicação de protecção pesada;
- Classe II
Coberturas cuja pendente permite o escoamento de água e a aplicação de protecção pesada;
- Classe III
Coberturas cuja pendente permite o escoamento fácil da água mas não permite a aplicação de protecção pesada;

➤ Classe IV

Coberturas cuja pendente obriga a medidas especiais na aplicação das suas camadas.

2.2.2 – Acessibilidade

Quanto à acessibilidade as coberturas em terraço são classificadas em:

a) Coberturas não acessíveis (ou de acessibilidade limitada)

Nestas coberturas está prevista apenas a circulação de pessoas ligadas à manutenção ou reparação, aconselhando-se, mesmo assim, a criação de zonas de circulação por forma a garantir-se a máxima protecção mecânica dos materiais de impermeabilização e isolamento térmico.

Na figura 1 apresenta-se um exemplo de cobertura não acessível. No caso particular representado, esta cobertura é também designada por "cobertura invertida" (ver 2.2.4) por apresentar a impermeabilização por baixo do isolamento térmico.

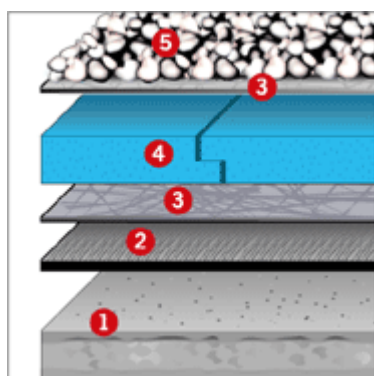


Fig. 1 - Cobertura de acessibilidade limitada [34]

- 1 - Camada de suporte, regularizada (pendente)
- 2 - Impermeabilização
- 3 - Camada de separação
- 4 - Isolamento térmico
- 5 - Protecção pesada

b) Coberturas acessíveis

A circulação poderá ser apenas de pessoas, alargar-se a veículos ligeiros ou até a veículos pesados, referindo-se como exemplo destas últimas os parques de estacionamento localizados sobre edifícios.

Duas representações possíveis para este tipo de cobertura estão definidas nas figuras 2 e 3.

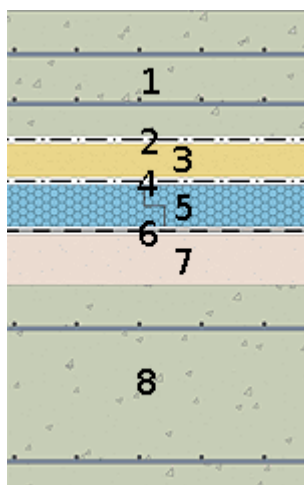


Fig. 2 - Cobertura acessível a veículos [24]

- 1 – Laje de betão armado (com juntas de dilatação)
- 2 – Feltro geotêxtil
- 3 – Camada de areia ou gravilha
- 4 – Feltro geotêxtil
- 5 – Isolamento térmico
- 6 - Impermeabilização
- 7 – Camada de forma
- 8 – Camada de suporte

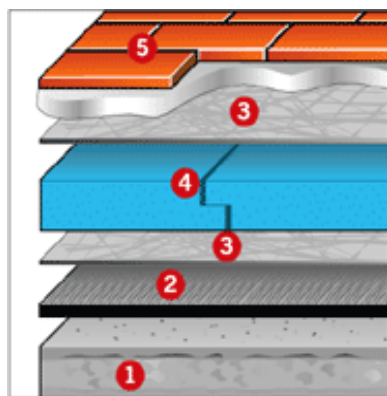


Fig. 3 - Cobertura acessível a pessoas [34]

- 1 - Camada de suporte, regularizada (pendente)
- 2 - Membrana impermeabilizante
- 3 - Geotêxtil de separação
- 4 - Isolamento térmico
- 5 - Revestimento cerâmico sobre betonilha esquadrelada (com juntas de dilatação)

c) Coberturas especiais

Neste grupo incluem-se os terraços-jardim (figs. 4, 5 e 6), também designados por coberturas ajardinadas e as coberturas que suportam equipamento técnico.

Uma **cobertura ajardinada** pode considerar-se um complemento da cobertura plana existente sobre a qual se realiza. Engloba uma impermeabilização de alta qualidade e repelente de raízes, um sistema de drenagem, uma camada de terra vegetal para plantação e a respectiva vegetação.

Os sistemas de cobertura ajardinada podem ser modulares com as várias camadas (drenagem, manta geotêxtil, suportes de cultura e plantas) já preparadas em grelhas móveis acopláveis, ou cada componente (camada) do sistema pode ser instalado separadamente. Podem ainda ser divididos em dois tipos: *Intensivo* e *extensivo*.

No **método intensivo** as coberturas são geralmente acessíveis a pessoas de uma forma semelhante a um vulgar jardim ou terraço e como tal necessitam de um nível elevado de manutenção.

Tendo usualmente uma maior espessura do solo é necessário a utilização de rega artificial, sendo a escolha das espécies a plantar bem como dos elementos que compõem o substrato bastante importante de forma a garantir a sustentabilidade da vegetação.

O método intensivo engloba ainda duas subdivisões, classificadas pela espessura do solo:

- intensivo simples, para espessuras de 20 cm (fig. 4);
- intensivo complexo, quando a espessura está situada entre os 20 e os 60 cm (Fig. 5).

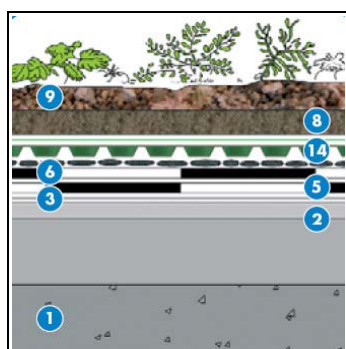


Fig. 4 – Exemplo de cobertura ajardinada, método intensivo simples [29]

- 1 – Camada de suporte
- 2 – Suporte Base
- 3 – Tratamento asfáltico
- 5 – Membrana de Impermeabilização totalmente fixada ao tratamento asfáltico devidamente selada e soldada.
- 6 – Membrana Impermeabilizante, devidamente fixada à membrana anterior.
- 8 – Perfil metálico selado
- 9 – Reforço para escoamento de água.
- 14 – Membrana para retenção de água.

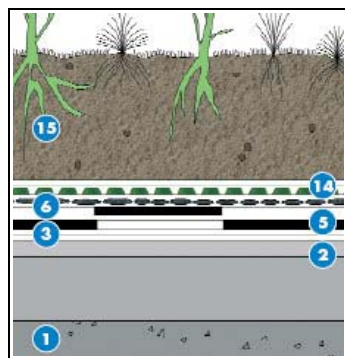


Fig. 5 – Exemplo de cobertura ajardinada, método intensivo complexo [29]

- 1 – Camada de suporte
- 2 – Suporte Base
- 3 – Tratamento asfáltico
- 5 – Membrana de Impermeabilização (monocamada melhorada), totalmente fixada ao tratamento asfáltico devidamente selada e soldada.
- 6 – Membrana Impermeabilizante devidamente fixada à membrana anterior.
- 14 – Membrana drenante composta por uma lâmina drenante nodular de polietileno de alta densidade com geotêxtil termosoldado incorporado.
- 15 – Acabamento com terra vegetal.

No **método extensivo** as coberturas são geralmente não acessíveis e por isso necessitam de um menor nível de manutenção. As plantas a seleccionar deverão ser mais naturais e auto-suficientes, facilmente adaptáveis a pequenas camadas de solo (entre 10 e 20 centímetros) (Fig.6). Este método quando comparado com o intensivo apresenta uma diminuição no peso total do sistema e é tido como uma solução leve para coberturas ajardinadas.

As coberturas dos edifícios quando revestidas com vegetação promovem um vasto conjunto de funções, contribuindo significativamente para um aumento da área verde por habitante e a criação de áreas privadas ou públicas de socialização e recreio, melhoria das redes públicas de drenagem de águas pluviais, pela retenção de parte da água das chuvas no solo e desfazamento do pico de cheia, melhoria do clima urbano pela fixação de algum CO₂, maior duração dos materiais de impermeabilização e isolamento e um maior isolamento térmico e acústico dos edifícios. Esta última situação traduz-se numa diminuição da produção de resíduos (pelo prolongamento da vida dos materiais) que conduz a uma redução de consumo energético e consequente preservação de recursos naturais (solo, fauna, flora e combustíveis fósseis).

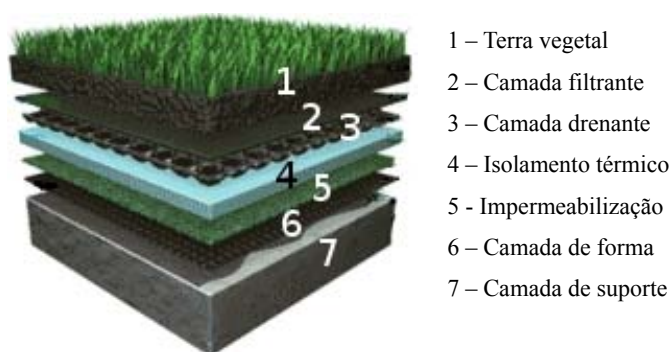


Fig. 6 – Exemplo de cobertura ajardinada, método extensivo [29]

2.2.3 – Revestimento de impermeabilização

A classificação das coberturas em terraço pode ser feita através do tipo de revestimento de impermeabilização que integram, normalmente designados por tradicional ou não tradicional. Os revestimentos designados por tradicionais têm um longo período de utilização e, por isso, o seu desempenho é perfeitamente conhecido.

Já os não tradicionais são mais recentes e, por isso, naturalmente o seu desempenho, especialmente em obra, é ainda relativamente limitado. Para colmatar esse facto desenvolvem-se estudos ou pareceres de viabilidade de utilização que permitem verificar a

sua adequabilidade à função a que se destinam.

Tanto uns como outros podem ser:

Preparados e aplicados “in situ” ou elaborados em obra

Normalmente de aspecto pastoso ou líquido, são preparados a frio ou a quente no local da obra, sendo mais frequente ser fornecidos já prontos a aplicar.

Prefabricados

Membranas comercializadas em peça, normalmente distribuídas em rolo.

Como exemplo de revestimentos tradicionais prefabricados indicam-se as membranas de betumes oxidados, vulgarmente designados por telas ou feltros betuminosos. Para os revestimentos tradicionais elaborados em obra, são exemplo as emulsões betuminosas, as pinturas betuminosas e os ligantes de cimento vulcânico.

Quanto aos materiais não tradicionais prefabricados, estes incluem as membranas de betume modificado com resinas e as membranas termoplásticas e elastoméricas, enquanto que para os materiais não tradicionais elaborados em obra poderão ser exemplo as emulsões betuminosas modificadas.

2.2.4 – Posicionamento do isolante térmico

A colocação do material isolante térmico é possível em cinco diferentes posições, reflectindo-se nas propriedades e durabilidade de todo o sistema de impermeabilização.

Das várias escolhas de localização possível, resultam três grupos principais:

a) Localização intermédia

Quando o isolamento térmico é colocado entre a camada de suporte, ou estrutura resistente, e a impermeabilização. Neste tipo de solução a estrutura resistente fica protegida termicamente, ficando contudo o revestimento de impermeabilização sujeito a maiores variações das solicitações térmicas, conforme esquematizado na figura seguinte para estruturas resistentes em betão e em chapa nervurada.

Nestas condições, e dada a existência quase obrigatória da camada de forma, o isolamento pode ainda ser colocado:

- sobre a camada de forma, e servir de suporte directo à impermeabilização;
- sob a camada de forma, assente sobre a camada de suporte resistente, ou sobre uma camada de regularização desse suporte.

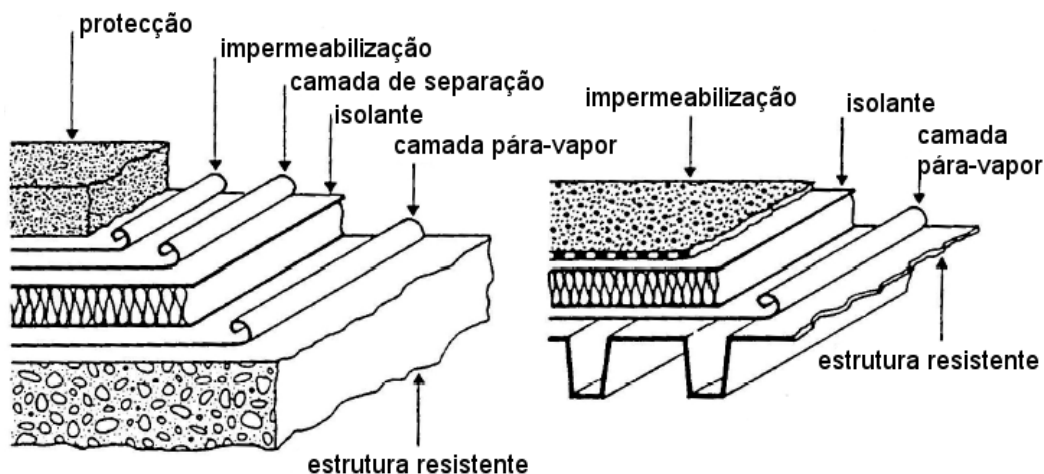


Fig. 7 - Isolante como suporte da impermeabilização [02]

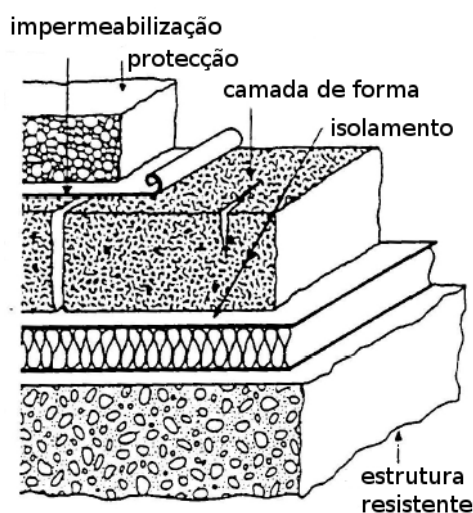


Fig. 8 - Isolante sob a camada de forma [02]

Este último tipo de localização (isolamento sob a camada de forma) não é recomendada dado o grande número de patologias a que deu origem, conduzindo muitas

vezes ao aparecimento de humidade nas camadas adjacentes à impermeabilização. Os ciclos de retracção/dilatação introduzem nesta camada de forma esforços adicionais devido aos maiores choques térmicos a que está sujeita, que provocam fissuração que pode afectar o revestimento de impermeabilização subjacente.

b) Cobertura invertida

Nesta situação, o isolamento térmico situa-se por cima da camada de impermeabilização. É uma solução muito utilizada actualmente por ser a que melhor garante a protecção do material impermeabilizante, tanto em relação à incidência da radiação solar como aos ciclos de aquecimento e arrefecimento, ficando ainda protegida contra acções mecânicas que podem levar à sua perfuração.

No entanto, porque o isolamento térmico pode ficar em contacto com a água, é necessário garantir o seu bom comportamento a este agente atmosférico e a compatibilidade química com os materiais das camadas adjacentes. Por isso o isolamento térmico a usar neste tipo de cobertura deve ser pouco absorvente, como por exemplo, o poliestireno expandido extrudido (XPS).

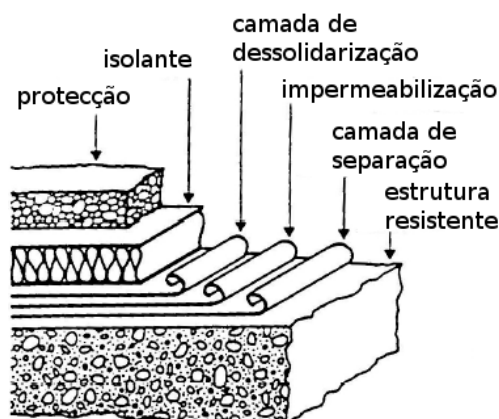


Fig. 9 - Isolamento sobre a impermeabilização [02]

c) Sob a estrutura resistente

Nesta opção o isolamento térmico é aplicado pelo interior do local a proteger podendo, neste caso ser:

- aplicado sobre tecto falso, sob a forma de placas (fig. 10);
- fixado (ou projectado) directamente ao tecto (fig. 11).

A opção da colocação do isolamento sob a estrutura resistente, é a opção menos recomendada, pois reduz a inércia térmica do conjunto, ao mesmo tempo que não protege nem o material impermeabilizante, nem a estrutura resistente das dilatações e contracções resultantes dos diferenciais térmicos exteriores.

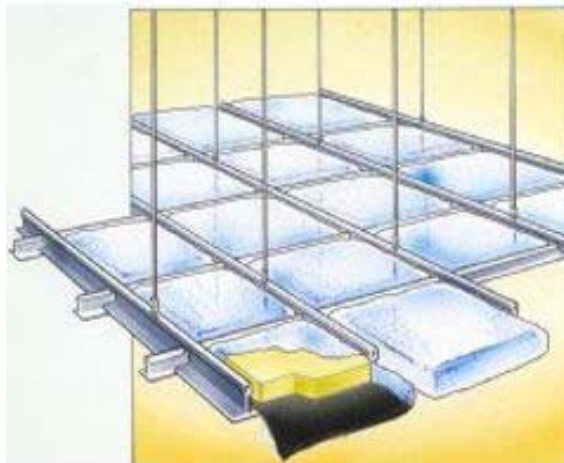


Fig. 10 - Isolamento sobre o tecto falso [21]



Fig. 11 - Isolamento projectado (preparado "in situ") [22]

2.2.5 – Tipo de protecção do revestimento de impermeabilização

Esta classificação de coberturas em terraço refere-se ao tipo de protecção do revestimento de impermeabilização bem como à sua constituição física.

Qualquer dos 3 tipos que a seguir se indicam podem dizer respeito a membranas de impermeabilização que têm, por acabamento em ambas as faces, um filme de polietileno cuja única função é evitar a aderência do material quando armazenado em rolo:

a) Sem protecção

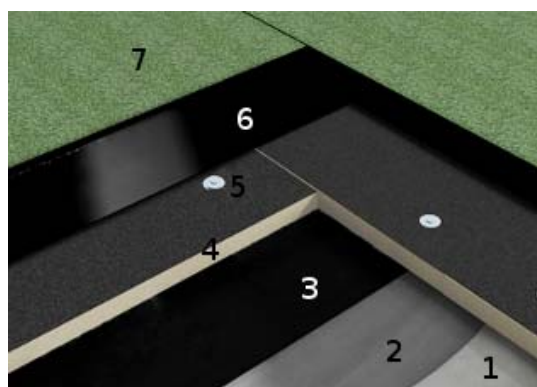
O material de impermeabilização não apresenta qualquer tipo de protecção.

b) Com protecção leve

Este tipo de protecção pode ser aplicado na fábrica, designando-se esse revestimento de impermeabilização de autoprottegido, ou aplicado em obra (in situ). Quando executada na fábrica, a protecção leve toma a forma de materiais granulares de origem mineral (areia fina, areão, gravilha ou lamelas de xisto), ou apresenta-se na forma de folha de alumínio, cobre ou plástico aplicados na sua superfície superior.

Quando realizada em obra, a protecção leve pode efectivar-se pela aplicação de tinta de alumínio ou pintura com cal, ou ainda por aplicação de areão ou gravilha solta, ambas sem ligantes.

Na fig. 12 apresenta-se um exemplo deste tipo de protecção. Neste caso particular, a protecção foi realizada em fábrica, sendo composta de lamelas de xisto colorido (7). Um pormenor importante que ainda se pode ver na figura é a utilização de **fixação mecânica** (5) no isolamento térmico, de modo a evitar o arrancamento de todo o sistema em caso de ventos fortes.



- 1 - Camada de suporte
- 2 - Primário asfáltico
- 3 - Barreira ao vapor
- 4 - Isolamento térmico
- 5 - Fixação mecânica
- 6 - Membrana de impermeabilização
- 7 - Membrana de impermeabilização, revestida a lamelas de xisto

Fig. 12 – Exemplo de impermeabilização com protecção leve [20]

c) Com protecção pesada

A protecção pesada é sempre aplicada em obra e pode ser constituída por materiais soltos ou camadas rígidas.

Como material solto poderá ser usado gôdo (calhau ou seixo), ou material britado. Deve ser tido em conta que este tipo de protecção poderá provocar perfuração na impermeabilização, caso sobre ela se exerça demasiada pressão. Por este motivo, as coberturas onde se aplique material solto não deverão ser acessíveis, e devem possuir caminhos de circulação, utilizáveis em situações de manutenção ou reparação.

Nas camadas rígidas (mais propícias à circulação) é frequente a utilização de betonilha, ladrilhos sobre betonilha, placas prefabricadas em betão, material cerâmico ou madeira.

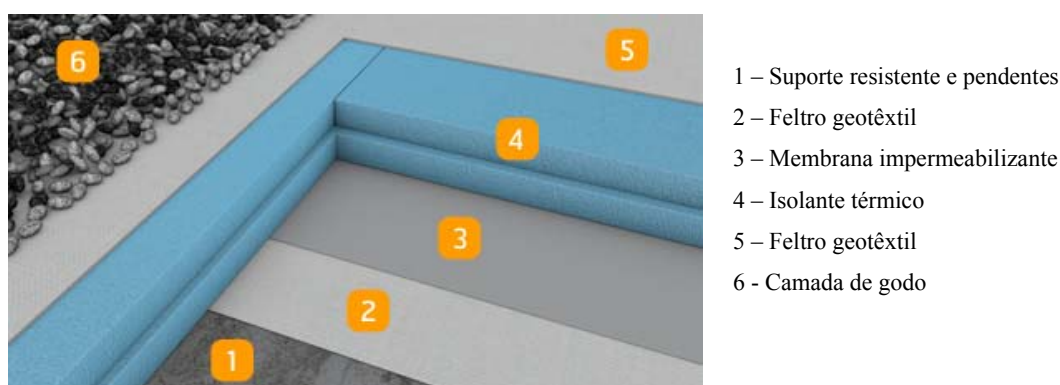


Fig. 13 – Exemplo de impermeabilização com protecção pesada em seixo rolado [35]

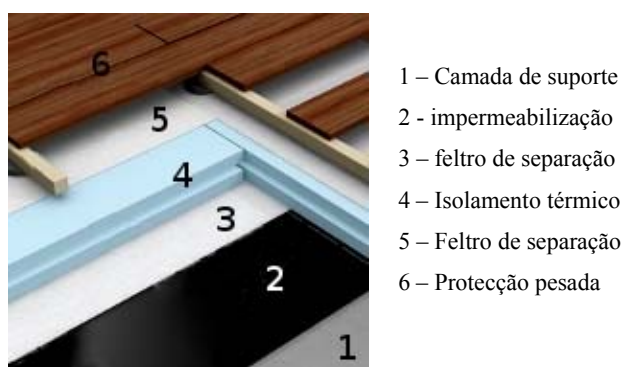


Fig. 14 – Exemplo de impermeabilização com protecção pesada em régulas de madeira [20]

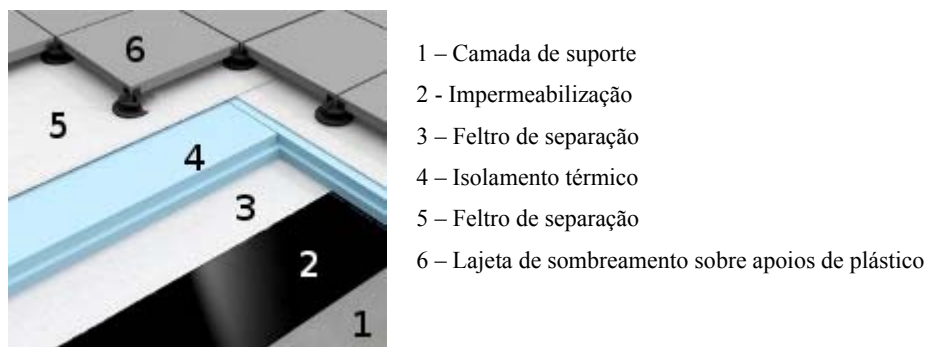


Fig. 15 – Exemplo de impermeabilização com protecção pesada em lajeta de betão [20]

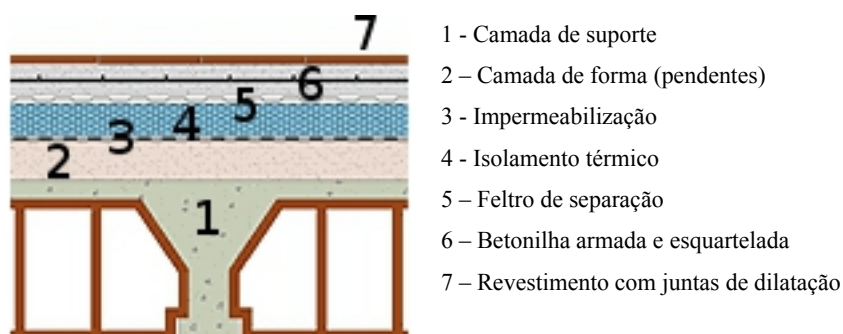


Fig. 16 – Exemplo de impermeabilização com protecção pesada em ladrilho cerâmico [24]

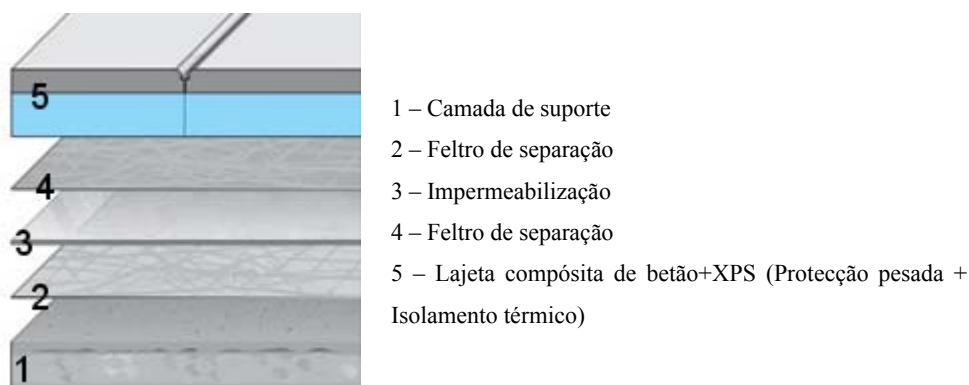


Fig.17 – Exemplo de impermeabilização com protecção pesada em lajeta térmica [34]

Note-se que a solução indicada na figura 16 não é recomendável, por ser contínua a camada de protecção pesada, dificultando por um lado a evaporação da água da camada de isolamento e por outro por introduzir nessa camada rígida maiores tensões nos materiais dessa protecção pesada por disporem por baixo uma camada isolante

2.2.6 – Estrutura resistente

As coberturas são classificadas de rígidas ou flexíveis, quando considerado o tipo de estrutura resistente :

a) *Rígidas*

- Contínuas

Estas estruturas são executadas sem juntas (excluindo as de dilatação). Encontram-se nesta situação as lajes de betão armado, as lajes aligeiradas e as prelares.

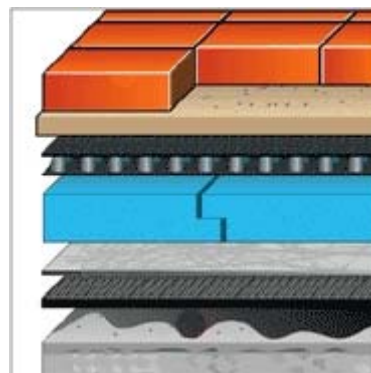


Fig. 18 – Exemplo de estrutura resistente rígida contínua (laje de betão armado) [34]

- Descontínuas

Neste grupo encontram-se as estruturas resistentes com juntas de pequena dimensão, espaçadas regularmente, de acordo com as dimensões das peças; como por exemplo, indicam-se as lajes nervuradas para grandes vãos ou as pranchas vazadas prefabricadas de betão armado.



Fig. 19 – Exemplo de estrutura resistente rígida descontínua (laje alveolar)[28]

b) *Flexíveis*

As estruturas resistentes flexíveis são compostas por materiais leves e de pequena espessura, como por exemplo as chapas metálicas nervuradas e pranchas de madeira.

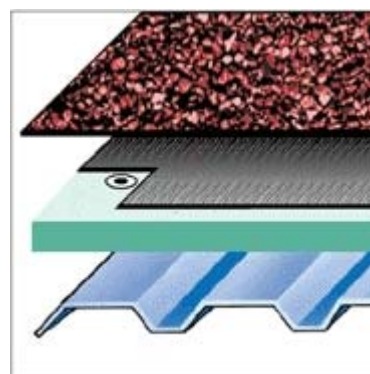


Fig. 20 – Exemplo de estrutura resistente flexível (chapa metálica)[34]

2.3 – Constituição e função das camadas numa cobertura em terraço

As camadas que constituem uma cobertura em terraço, apresentam naturalmente características e funções diferenciadas.

Numa cobertura plana tradicional (ou convencional) em que o sistema de impermeabilização é aplicado sobre o isolamento térmico, tornam-se evidentes alguns efeitos que conduzem à deterioração do sistema de impermeabilização. Destes, indicam-se de seguida, os mais significativos:

- diferenciais térmicos, não só diários como também aqueles que se verificam ao longo do ano;
- danos mecânicos, como o risco de perfuração, nomeadamente durante a fase de construção;
- degradação do material impermeabilizante por efeito da radiação UV, se a impermeabilização não for protegida;
- degradação (também do isolamento térmico convencional) provocada por humidade que surge na face inferior do sistema impermeabilizante, com origem na água da chuva caída na fase de execução ou na humidade presente nos materiais utilizados na construção.

Na cobertura dita invertida, as posições relativas do isolamento e da impermeabilização alteram-se, conforme já referido, passando o isolamento térmico a estar sobre a impermeabilização. Deste modo a generalidade dos efeitos nefastos referidos anteriormente deixam de se manifestar, aumentando a duração e eficácia da impermeabilização.

Conforme se tem vindo a referir, de um modo geral podem-se, considerar quatro as camadas principais de uma cobertura em terraço:

- estrutura resistente;
- isolamento térmico;
- revestimento ou sistema de impermeabilização;

- protecção do revestimento ou sistema de impermeabilização.

Outras camadas podem existir, algumas das quais sendo elas próprias o suporte do revestimento de impermeabilização:

- camada de regularização;
- camada de forma;
- barreira pára-vapor;
- camada de difusão de vapor de água;
- camada de dessolidarização.

Cada uma das camadas referidas, apresenta funções específicas podendo variar a sua posição dentro do conjunto. As diversas soluções devem ser adequadas às funcionalidades da cobertura que constituem.

No caso particular das coberturas ajardinadas, existem ainda camadas destinadas à drenagem e filtragem e, claro, a camada de terra vegetal.

Apresentam-se de seguida as funcionalidades e características das possíveis camadas de uma cobertura em terraço.

a) Estrutura resistente

A estrutura resistente é, como já referido anteriormente, constituída por uma estrutura rígida, normalmente em betão, ou flexível, no caso de coberturas metálicas ou de madeira constituídas por chapas nervuradas ou onduladas.

b) Camada de regularização

É necessária a criação de uma camada de regularização sempre que a estrutura resistente apresente irregularidades significativas ou imperfeições que não permitam a aplicação directa da impermeabilização ou do isolante térmico.

Esta camada de regularização pode ser constituída por qualquer tipo de betão.

Dependendo do nível das irregularidades, assim a sua espessura será mais ou menos significativa devendo no entanto nunca ser demasiado reduzida, sendo usual valores entre 3,0 e 5,0 centímetros.

c) Camada de forma

A principal função desta camada é a criação da pendente. A sua existência pode tornar desnecessária a camada de regularização, pois vai corrigir as irregularidades e imperfeições da estrutura resistente.

Esta camada é constituída normalmente por argamassas leves à base de cimento mas, se for realizada com recurso a materiais de baixa condutibilidade térmica tais como o poliestireno expandido extrudido (XPS), pode, para além de criar a pendente, assegurar a função de isolamento térmico.

d) Barreira pára-vapor

Quando a camada de impermeabilização é colocada por cima do isolamento térmico (cobertura tradicional), deverá, nalgumas situações, ser criada uma barreira ao vapor de água proveniente dos compartimentos inferiores. Este vapor poderá condensar em contacto com o isolamento térmico, provocando um aumento da condutividade térmica, nos casos em que o isolamento térmico tem a capacidade de absorção de grandes quantidades de vapor de água, como por exemplo o aglomerado de cortiça.

Nas situações em que o isolamento térmico se sobrepõe à camada de impermeabilização (coberturas invertidas), é dispensada a utilização desta camada.

A barreira pára-vapor deve ser, evidentemente, constituída por um material impermeável ao vapor de água, satisfazendo a estas condições, por exemplo, os filmes plásticos ou uma emulsão betuminosa.

e) Isolamento térmico

Dele depende a limitação das trocas de calor entre o interior e o exterior do local a isolar, garantindo o conforto térmico esperado no interior do espaço utilizado.

Para isolamento térmico utilizam-se materiais tão diferenciados como a lã de rocha ou o aglomerado de cortiça expandida, sendo no entanto o poliestireno expandido moldado (EPS) e, principalmente, o poliestireno expandido extrudido (XPS), os materiais mais utilizados em Portugal.

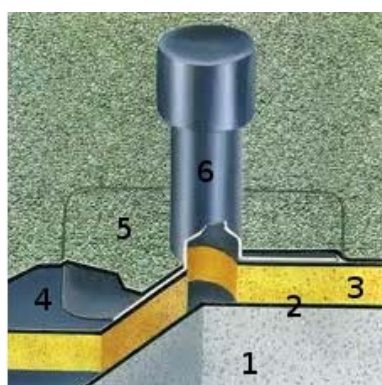
f) Camada de difusão de vapor de água

Tem por função canalizar para o exterior o vapor de água existente sob a

impermeabilização. Para tal, utilizam-se chaminés de ventilação. Também são utilizadas outras disposições construtivas, nomeadamente nas zonas de remate periféricas, como é o caso das platibandas.

Quando a camada de impermeabilização se situar sob o isolamento térmico (cobertura invertida), não é necessária a colocação desta camada.

Note-se a este propósito que a condensação de vapor de água oriundo do interior dos locais é uma das causas das patologias apresentadas pelas coberturas.



- 1 – Camada de suporte
- 2 – Camada pára-vapor
- 3 – Isolante térmico
- 4 – Camada de difusão de vapor de água
- 5 - Impermeabilizante
- 6 – Chaminé de ventilação

Fig. 21 Chaminé de ventilação [31]

g) Revestimento ou sistema de impermeabilização

Com esta camada pretende-se garantir que a água que atinja a superfície exterior da cobertura não passe para as camadas inferiores. Sendo esta a camada impermeabilizante por excelência, é nela que estão as principais causas das infiltrações de água pela cobertura. Por isso, esta camada deverá de ser convenientemente protegida de qualquer tipo de agressão química, física ou mecânica.

Os materiais utilizados na impermeabilização têm origens e características diversas, podendo classificar-se em tradicionais e não-tradicionais, como anteriormente indicado em 2.2.3.

h) Camada de dessolidarização

Por vezes torna-se necessário separar a impermeabilização da sua protecção, nomeadamente quando as variações dimensionais da camada de protecção não se coadunam com a resposta dada pela impermeabilização.

Essa separação pode ser efectuada pela aplicação de papel Kraft, folha de plástico ou manta geotêxtil.

j) Camada de protecção

Tem por função evitar a degradação da camada de impermeabilização ou de isolamento térmico. Essa degradação é resultante de acções externas provocadas pelo clima (acções climáticas) ou resultantes da circulação de pessoas e veículos (acções mecânicas).

Quando apenas se pretende uma protecção contra as acções climáticas, podem ser utilizados materiais aplicados na superfície do próprio material impermeabilizante. Encontram-se nesta situação a folha de alumínio gofrado ou o granulado de xisto, aplicados sobre as membranas betuminosas (protecção leve).

No caso particular de se pretender proteger o revestimento de impermeabilização da degradação provocada por variações elevadas da temperatura, são então realizadas as coberturas invertidas.

No caso de ser necessária uma protecção a acções mecânicas (protecção pesada), esta depende do tipo de acessibilidade da cobertura. A protecção pode ser criada através da execução de uma betonilha (neste caso torna-se necessário a colocação de uma camada de dessolidarização), da colocação de lajetas ou simplesmente através da colocação de godó.

j) Barreira de separação química

Utilizada quando se verifica a existência de incompatibilidade química especialmente entre os materiais do revestimento impermeabilizante e os que com ele confinam.

CAPÍTULO 3 - ISOLAMENTOS TÉRMICOS EM COBERTURAS EM TERRAÇO

3.1 – Considerações preliminares

A necessidade da redução do consumo de energia nos edifícios levou à utilização de isolamentos térmicos, nomeadamente nas coberturas, sejam elas em terraço ou inclinadas. Estes materiais condicionam, em algumas situações, o sistema de impermeabilização a utilizar. Embora tenham propriedades físico-químicas iguais às dos isolantes térmicos usados noutras partes dos edifícios, devem ter características específicas, por forma a suportarem, nomeadamente, cargas resultantes da circulação de pessoas e manterem a estabilidade das suas dimensões.

Desta forma seguem-se algumas considerações sobre estes materiais, tendo em vista a sua constituição, regras de qualidade e principais características.

3.2. - Classificação dos materiais

O facto do isolamento térmico poder estar por cima da impermeabilização (cobertura invertida), determina a necessidade de ter em conta a sua composição, pois dela resulta o seu comportamento, particularmente o seu comportamento na presença da água.

Mas, associado à composição, está também o seu método de fabrico (produção). Deste modo, os isolamentos térmicos podem ser agrupados quanto à natureza das matérias primas e quanto ao modo de produção.

a) Natureza das matérias primas

Este factor revela-se muito importante, nomeadamente no respeitante à compatibilidade química entre os materiais do isolamento e as camadas adjacentes. Estes materiais têm normalmente origem mineral, vegetal, sintética ou mista.

A classificação dos materiais segundo este parâmetro pode ser apresentada da seguinte

forma:

a.1) Isolantes minerais

- Fibras minerais (lã de rocha);
- Perlite expandida;
- Vermiculite expandida;
- Betões leves (celular e com agregados leves).

a.2) Isolantes vegetais

- Aglomerado de cortiça expandida;
- Aglomerado de fibras ou partículas de madeira;
- Aglomerado de aparas de madeira mineralizada;
- Aglomerado de fibras de linho.

a.3) Isolantes sintéticos

- Poliestireno expandido;
- Espumas rígidas de poliuretano;
- Espumas fenólicas.

a.4) Isolantes mistos

- Perlite expandida e poliuretano;
- Perlite expandida e lã de rocha.

b) Modo de produção ou execução

Os produtos de isolamento térmico podem ser prefabricados ou confeccionados no local. Se prefabricados, podem ser aplicados aderentes ou soltos, podendo ainda recorrer-se à fixação mecânica.

No caso dos produtos confeccionados no local, podem aí ser moldados como é o caso vulgar dos betões celulares, ser aplicados soltos (colocação livre) ou ser aplicados por projecção. Sintetizando:

b.1) Produtos prefabricados

- Placas (de lã de rocha; aglomerado de cortiça expandida; de poliestireno; de

poliuretano expandido), etc.;

- Mantas (de lã de rocha).

b.2) Produtos produzidos “In situ”

- Em pasta ou espuma:

- Moldados (betões leves);
- Projectados (poliuretano, betões leves).

- Granulares:

- Colocação livre (argila expandida; perlite);
- Aglomerados por ligante (betões leves).

3.3. - Regras de qualidade dos isolantes como suporte de impermeabilização

As regras em questão, transpostas de Directivas da UEAtc (Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction), referem-se particularmente a materiais isolantes em placa e têm em conta o seu comportamento às acções térmicas e mecânicas. Estas regras podem ser resumidas da seguinte forma:

a) Comportamento das placas a acções térmicas

- Variação dimensional com a temperatura

As placas devem obedecer a limites de variação dimensional, variando estes com o tipo de fixação utilizado, ou o facto de existir protecção pesada ou não.

- Comportamento aos movimentos do suporte

Sem importância significativa no caso de sistemas não-aderentes, semi-aderentes ou, para qualquer forma de ligação da impermeabilização ao suporte, no caso deste ter um coeficiente de dilatação térmica muito baixo (inferior a 0.5 mm para uma variação de 50°C).

- Deslizamento da impermeabilização

Situação a ter em conta apenas para impermeabilizações de classe IV (ver 2.2.1). Neste caso o deslocamento da impermeabilização sobre o isolamento não deve ser superior a

2 mm, quando o sistema é sujeito à acção da temperatura de 80°C durante 2 horas.

b) Comportamento das placas a acções mecânicas

Os materiais isolantes, enquanto suportes, sustentam de forma diversa as cargas que sobre eles são aplicadas. As cargas aplicadas podem ser:

- Uniformemente distribuídas ou concentradas;
- Dinâmicas (Choque) ou estáticas.

A compressibilidade dos isolantes é uma característica importante e pode ser classificada em quatro classes, da A à D, sendo a classe D a menos compressível; coberturas com isolantes desta classe podem ser utilizadas para a circulação de veículos ligeiros.

3.4. Principais características

Embora hoje em dia se verifique um cada vez maior uso de placas de poliestireno expandido extrudido como isolante térmico, outros materiais como a lã mineral, aglomerado de cortiça expandida, betão celular ou argamassa de granulado de argila expandida são também utilizados.

No entanto, a maior utilização do poliestireno expandido extrudido deve-se, por um lado, à facilidade da sua aplicação e consequente redução do custo de mão-de-obra, e por outro lado, ao efeito já referido sobre o sistema de impermeabilização subjacente (vide 2.2.4).

a) Perlite expandida

A perlite é um tipo de vidro vulcânico que se expande e se torna poroso quando é aquecido. Essa expansão é o resultado do aquecimento das moléculas de água retidas no seu interior.

Devido às suas propriedades isolantes e à baixa densidade, é amplamente utilizada a granel no isolamento de paredes de alvenaria. Além de proporcionar isolamento térmico, aumenta a resistência ao fogo, reduz a transmissão de ruído e ainda é resistente a insectos (quando essa propriedade for importante).

Quando a perlite é usada como agregado em argamassas, resulta um produto leve e

resistente ao fogo, com características isolantes, que é assim uma solução apropriada para terraços, particularmente na execução da camada de forma (pendente).



Fig. 22 Várias formas de apresentação de perlite [23]

b) Betões leves

Enquanto suportes isolantes da impermeabilização podem também definir, simultaneamente, a camada de forma da cobertura. Estes betões são normalmente confeccionados no local, utilizando granulado de argila expandida, granulado de poliestireno expandido ou perlite. Uma outra opção consiste no uso de betão celular. Neste tipo de betão é adicionado pó de alumínio ou zinco, se este betão for fabricado em autoclave, ou resinas especiais no caso de ser produzido em obra. Estes aditivos vão provocar-lhe uma expansão,



Fig. 23 - Argila expandida [29]



Fig. 24 - Granulado de poliestireno expandido [25]

aumentando o índice de vazios e reduzindo assim a condutibilidade térmica.

Estes betões têm retracção elevada, pelo que se aconselha a utilização de sistemas de impermeabilização independentes ou semi-aderentes.

c) Isolantes vegetais (Aglomerado de cortiça expandida)

Do ponto de vista do seu comportamento à acção da água, este material apresenta um

pioor comportamento, por exemplo, em relação à lã de rocha e ao poliestireno expandido extrudido, resultante da maior absorção de água por imersão, que pode ser superior a 4,5 e 17 vezes mais, respectivamente.

A absorção de água por este material leva a alterações dimensionais significativas, pelo que a sua aplicação à vista pode levar ao seu desprendimento do suporte.

Uma outra desvantagem resultante da referida absorção de água é a correspondente diminuição das propriedades isolantes.

Em termos mecânicos, a sua compressibilidade é aceitável.



Fig. 25 - Aglomerado de cortiça expandida [26]

d) Isolantes minerais (Lã de rocha)

Este tipo de material é apresentado em placas ou mantas de lã de rocha. As placas apresentam-se simples ou revestidas por uma membrana betuminosa. As placas enquadram-se em geral nas classes de compressibilidade B ou C. A sua classe de reacção ao fogo é A1 ou A2, definidas no DL 220/2008, de 12 de Novembro. Este material é bastante resistente a agentes químicos e biológicos e é imputrescível.

A lã de rocha provém de fibras minerais de rochas vulcânicas, entre elas o basalto e o calcáreo, esta última uma rocha sedimentar. Esta fibra era já utilizada pelos nativos das ilhas havaianas na cobertura das habitações para as proteger do frio e do calor.

A lã de rocha é produzida a partir de lã mineral. Depois de aquecer as rochas basálticas e outros minerais a cerca de 1500°C, estes são transformados em filamentos que, aglomerados com soluções de resinas orgânicas, permitem a fabricação de produtos leves e flexíveis ou até muito rígidos, dependendo do grau de compactação, resultando num produto praticamente imune à acção do fogo e com excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico.

Em termos comerciais, este material é apresentado em forma de placa ou manta (fig. 26).



Fig. 26 - Lã de rocha em manta e placa [27]

e) Isolantes sintéticos

Quando apresentados em placas (de poliestireno ou poliuretano expandido), são em geral revestidas por membrana betuminosa, necessária à sua fixação ao suporte ou para fixação da impermeabilização em sistemas aderidos. No entanto, a sua sensibilidade às temperaturas envolvidas no processo de colagem, podem desaconselhar este tipo de procedimento.

Nos últimos anos vem sendo cada vez mais utilizado o poliestireno expandido extrudido, em placas simples, aplicado sobre a impermeabilização, nas chamadas coberturas invertidas. Neste sistema o isolamento não é aderente. A sua boa resistência aos efeitos da água, nomeadamente a sua baixa absorção de água e ainda a sua alta resistência mecânica a esforços de compressão tornaram-no um dos materiais de eleição para isolamento térmico.

Apesar destas características, é necessária a colocação de uma protecção pesada, sob a forma de materiais soltos (godo ou brita) ou sob a forma de lajetas prefabricadas. Desta forma garante-se não só o seu posicionamento, como é garantida a protecção contra a radiação ultravioleta.

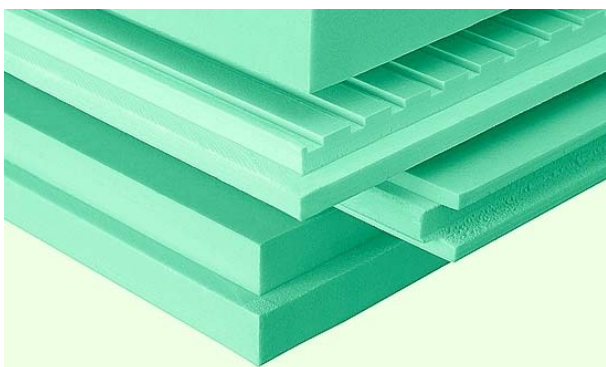


Fig. 27 - Placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) [32]



Fig. 28 - Acessório de fixação (*Tap It*) [29]

f) *Isolantes mistos*

Estes isolantes resultam da associação de alguns dos materiais indicados nos pontos anteriores, nomeadamente perlite expandida com poliuretano ou com lã de rocha.

Nestas associações, a camada de perlite é colocada “para cima”, pois suporta em melhores condições a aplicação do calor para ligação da impermeabilização, quando se recorre a esta técnica para essa ligação. As classes de compressibilidade conhecidas, são a B para perlite e lã-de-rocha e classe C para perlite e poliuretano.

	Perlite expandida (granel)	Lã de rocha	Betão leve	Aglomerado de cortiça expandida	Poliestireno expandido extrudido	Poliuretano
Apresentação	Granel	Placa / Manta	Betão	Placa	Placa	Projectado
Densidade (Kg/m3)	32-400	30-300	05-20	105-125	30-45	30-80
Compressibilidade	---	Baixa	Alta	Alta	Variável	Baixa
Condutibilidade térmica (W/mK)	0.04-0.06	0.03-0.041	0,12-0,90	0.5-1.0	0,029	0,023-0,035
Reacção ao fogo	A0	A1 / A2	A1 / A2	E	E	E
Ponto de fusão (°C)	1260-1343	1200-1500	---	---	---	---
Comportamento à água	---	Absorvente	Absorvente	Muito absorvente	Pouco absorvente	Pouco absorvente
Alterações dimensionais	---	Significativas	Significativas	Significativas	Pequenas	Pequenas
Resistência a agentes químicos e biológicos	Resistente a insectos	Imputrescível	Atacado por ácidos	Alta	Atacado por solventes	Atacado por solventes

Quadro 1 – Síntese das propriedades de alguns isolantes

3.5 - A condensação em coberturas em terraço

3.5.1. - Análise do fenómeno

Conforme se referiu, a condensação é um dos fenómenos mais vulgares em Portugal, nomeadamente por insuficiência de isolamento térmico nas coberturas (ou noutros elementos da construção).

A quantidade de vapor de água existente por unidade de volume de ar designa-se por humidade absoluta (H_a), sendo vulgarmente expressa em g/m³ ou kg/kg. O limite de saturação (W_s) é a máxima quantidade de vapor que, para uma determinada temperatura, o ar consegue absorver. Acima desse valor dá-se a condensação.

Por outro lado, a existência de vapor de água em suspensão no ar, cria uma certa pressão, maior ou menor consoante a quantidade de vapor existente. Esta pressão designa-se por pressão parcial do vapor (P_p) e pode ser expressa em Pa.

A humidade relativa (H_r) não é mais que a relação entre a quantidade de vapor de água por unidade de volume e o valor do limite de saturação. A cada limite de saturação corresponde uma pressão de saturação (P_s):

$$H_r = \frac{H_a}{W_s} \times 100 = \frac{P_p}{P_s} \times 100$$

A insuficiência de isolamentos térmicos pode, em certas condições, favorecer o aparecimento de condensações nos elementos construtivos, para quantidades de vapor de água maiores ou menores, consoante as respetivas temperaturas. Esta condensação pode ser superficial ou interna.

As condensações superficiais surgem nas superfícies interiores dos elementos opacos dos edifícios (paredes e tectos), mais frias que o ar ambiente, quando a humidade absoluta atinge o limite de saturação, para essa temperatura. O fenómeno pode ocorrer no interior das paredes e tectos, dependendo neste caso, também, da porosidade dos elementos construtivos.

Sempre que existam diferenças de pressão de vapor de água entre as duas faces de uma cobertura, ocorrerão fenómenos de difusão de vapor de água através desse elemento da envolvente. Deste modo, existindo temperaturas diferentes à superfície, existirão também diferentes temperaturas nas zonas intermédias entre as duas faces dessa cobertura. Se, numa

dada zona, a pressão parcial existente superar o limite de saturação (pressão de saturação), ocorrerá a condensação nessa zona.

3.5.2. - Avaliação de soluções correntes em coberturas planas

Na execução do isolamento térmico é possível a utilização de várias espessuras de material isolante. Mas qual será o mais económico, garantindo que o fenómeno de condensação não ocorrerá na superfície inferior (tecto) da cobertura plana?

Esta questão pode ser analisada por um processo analítico simples, bastando para tal considerar um tipo de cobertura plana, para a qual se faz variar a espessura do isolamento aplicado.

Um tipo possível de cobertura plana é o definido na figura apresentada a seguir:

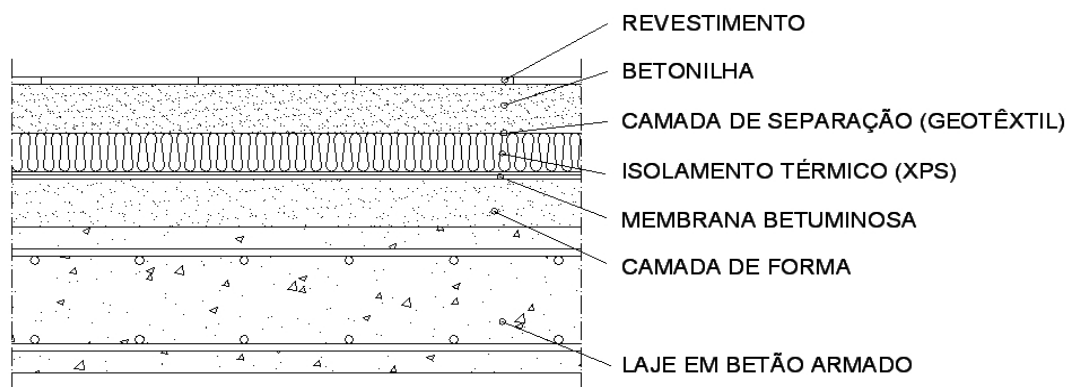


Fig. 29 - Cobertura plana tipo

No caso em estudo considerou-se que as camadas apresentavam as seguintes espessuras:

- laje: 15 cm;
- camada de forma: 5 cm;
- membranas betuminosas: 2 x 4 mm;
- poliestireno expandido extrudido (XPS): variável de 30 mm a 80 mm;
- betonilha: 5 cm;
- revestimento cerâmico: 8 mm.

Se fixarmos a temperatura interior nos 20°C (aquela que o RCCTE preconiza como referência no período de aquecimento) e considerarmos que as temperaturas exteriores variam entre -5 °C e 20 °C, iremos determinar as temperaturas superficiais no tecto do último piso, como adiante se verá.

Os valores de condutibilidade térmica (λ) são os indicados numa publicação do LNEC referida no próprio RCCTE [07].

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) resulta da soma do inverso das resistências térmicas das diversas camadas do elemento da envolvente, bem como das resistências superficiais interior e exterior. A resistência térmica total (R) é o inverso de U.

$$U = 1 / R_t = 1 / (R_i + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_e) \text{ [W / m}^2 \text{ °C]}$$

O cálculo da resistência térmica (R) dum camada homogénea dum elemento da envolvente resulta do quociente entre a espessura dessa camada (d) e o coeficiente de condutibilidade térmica (λ) do material que compõe essa camada.

$$R = d/\lambda \text{ [m}^2 \text{ °C / W]}$$

Os valores das resistências térmicas superficiais e de uma camada de ar estão tabelados (quadro VI.1 do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios, RCCTE), sendo $R_i = 1/h_i$ e $R_e = 1/h_e$.

Assim, para calcular o coeficiente de transmissão térmica (U), obtém-se:

$$U = 1/(1/h_i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + \dots + d_n/\lambda_n + 1/h_e)$$

Deste modo e para cada uma das quatro espessuras de isolamento térmico consideradas, determinaram-se, então, os valores do coeficiente de transmissão térmica (U), de acordo com os quadros seguintes (para fluxo ascendente):

Isolamento térmico com 30 mm de espessura

	Condutibilidade térmica	Espessura	Resistência térmica
	(λ)	(d)	($R = d / \lambda$)
	[W / (m.°C)]	[m]	[(m ² .°C) / W]
Revestimento	1,300	0,008	0,006
Betonilha	0,330	0,050	0,152
Isolante térmico	0,035	0,030	0,857
2x tela betuminosa	0,230	0,008	0,035
Betonilha regularização	0,330	0,050	0,152
Betão armado	2,500	0,150	0,060
R _{se}			0,040
R _{si}			0,100

$$U = 0,71 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{°C)}$$

Quadro 2 - Determinação de U para d = 30 mm

Isolamento térmico com 40 mm der espessura

	Condutibilidade térmica	Espessura	Resistência térmica
	(λ)	(d)	($R = d / \lambda$)
	[W / (m.°C)]	[m]	[(m ² .°C) / W]
Revestimento	1,300	0,008	0,006
Betonilha	0,330	0,050	0,152
Isolante térmico	0,035	0,040	1,143
2x tela betuminosa	0,230	0,008	0,035
Betonilha regularização	0,330	0,050	0,152
Betão armado	2,500	0,150	0,060
R _{se}			0,040
R _{si}			0,100

$$U = 0,59 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{°C)}$$

Quadro 3 - Determinação de U para d = 40 mm

Isolamento térmico com 60 mm de espessura

	Condutibilidade térmica	Espessura	Resistência térmica
	(λ)	(d)	($R = d / \lambda$)
	[W / (m.°C)]	[m]	[(m ² .°C) / W]
Revestimento	1,300	0,008	0,006
Betonilha	0,330	0,050	0,152
Isolante térmico	0,035	0,060	1,714
2x tela betuminosa	0,230	0,008	0,035
Betonilha regularização	0,330	0,050	0,152
Betão armado	2,500	0,150	0,060
R _{se}			0,040
R _{si}			0,100

U = 0,44 W / (m ² . °C)

Quadro 4 - Determinação de U para d = 60 mm

Isolamento térmico com 80 mm de espessura

	Condutibilidade térmica	Espessura	Resistência térmica
	(λ)	(d)	($R = d / \lambda$)
	[W / (m.°C)]	[m]	[(m ² .°C) / W]
Revestimento	1,300	0,008	0,006
Betonilha	0,330	0,050	0,152
Isolante térmico	0,035	0,080	2,286
2x tela betuminosa	0,230	0,008	0,035
Betonilha regularização	0,330	0,050	0,152
Betão armado	2,500	0,150	0,060
R _{se}			0,040
R _{si}			0,100

U = 0,35 W / (m ² . °C)

Quadro 5 - Determinação de U para d = 80 mm

A partir dos valores do coeficiente de transmissão térmica (U) e dos valores da temperatura exterior, calcularam-se os correspondentes valores de temperatura superficial interior (Θ_i), através da expressão:

$$\Theta_i = t_i - 0,12 U \cdot (t_i - t_e)$$

Após a obtenção dos valores de temperatura interior superficial, foram determinados ainda os valores de humidade de saturação (w_s) e humidade relativa (H_r) do ar nos espaços sob a cobertura, através de um programa de cálculo automático [36].

Ordenando os valores obtidos, organizando-os de acordo com a espessura do isolamento e combinando-os com as temperaturas exteriores consideradas, os resultados são apresentados no quadro seguinte:

	Temperatura exterior	Coef. transmis. térmica	Temperatura interior superficial	Humidade de saturação
Solução	t_e [°C]	U W / (m ² . °C)	θ_i [°C]	w_s [g / m ³]
1	-5,0	0,71	17,87	15,20
	0,0	0,71	18,30	15,61
	5,0	0,71	18,72	16,04
	10,0	0,71	19,15	16,47
	15,0	0,71	19,57	16,91
	20,0	0,71	20,00	17,37
2	-5,0	0,59	18,23	15,54
	0,0	0,59	18,58	15,90
	5,0	0,59	18,94	16,25
	10,0	0,59	19,29	16,62
	15,0	0,59	19,65	17,00
	20,0	0,59	20,00	17,37
3	-5,0	0,44	18,68	15,99
	0,0	0,44	18,94	16,26
	5,0	0,44	19,21	16,53
	10,0	0,44	19,47	16,80
	15,0	0,44	19,74	17,08
	20,0	0,44	20,00	17,37
4	-5,0	0,35	18,95	16,26
	0,0	0,35	19,16	16,48
	5,0	0,35	19,37	16,69
	10,0	0,35	19,58	16,92
	15,0	0,35	19,79	17,15
	20,0	0,35	20,00	17,37

Quadro 6 - Determinação de θ_i e w_s

Graficamente, a influência da espessura do isolamento na variação das temperaturas superficiais interiores e, conseqüentemente, na maior ou menor probabilidade de condensação superficial, está representada no gráfico da figura 30.

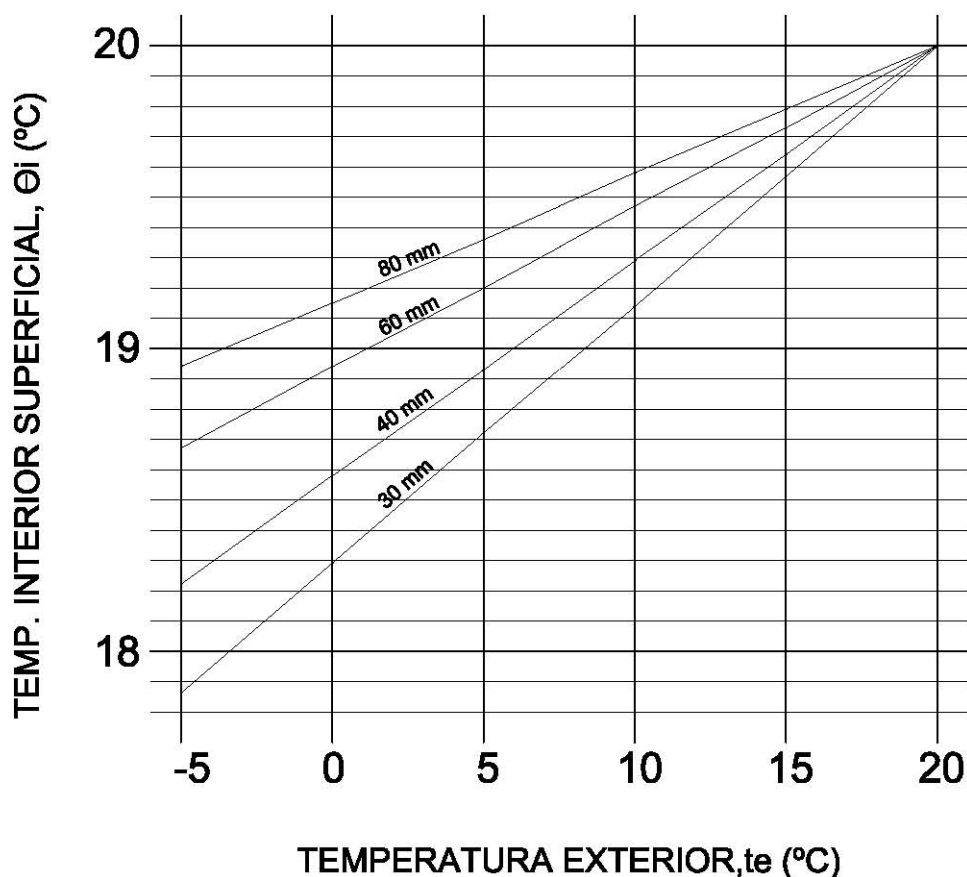


Fig. 30 - Influência da espessura do isolamento térmico na temperatura superficial interior

No caso da cobertura não ser isolada termicamente, que corresponde também à existência de alguma ponte térmica plana (por exemplo, uma viga invertida não isolada), as temperaturas superficiais interiores seriam naturalmente mais baixas. O coeficiente de transmissão térmica U seria neste caso aproximadamente igual a $1,83 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ e, a título de exemplo, para a temperatura do ar exterior de 0 °C teríamos $\theta = 15,6 \text{ °C}$, claramente inferior

aos valores encontrados e registados no quadro 5. O ponto de orvalho para esta temperatura seria cerca de 13 g/m^3 , valor mais facilmente atingível do que qualquer dos apresentados nesse mesmo quadro.

3.5.3. - Conclusões

No estudo efectuado são várias as conclusões a retirar, sendo desde logo perceptível que a uma maior espessura de isolamento térmico, corresponde (para a mesma temperatura exterior) uma temperatura de ponto de orvalho superior.

Ora, pela análise do gráfico psicrométrico (fig. 31), verifica-se que para uma maior temperatura superficial interior é necessário um grau de saturação do ar de valor mais elevado para que se verifique condensação nas superfícies interiores. Na situação limite em que a temperatura exterior seja a mesma da temperatura superficial interior (e como tal iguais à temperatura ambiente interior, ou seja $20 \text{ }^\circ\text{C}$), seria necessária naturalmente uma maior quantidade de vapor de água para que surgissem condensações. É claro que nesta análise não se está a ter em conta o efeito da ventilação, sempre necessário na minimização da ocorrência das humidades em questão. Ao ventilar os espaços sob a cobertura, reduzir-se-ão os teores de humidade absoluta no ar, e conseqüentemente baixará a humidade relativa para uma mesma temperatura (continuando a considerar o valor de referência de 20°C), afastando-se ainda mais a possibilidade de haver condensações nas superfícies analisadas.

Por último deixa-se uma nota sobre o já conhecido efeito negativo da existência de pontes térmicas planas nas coberturas (e, claro, nos outros elementos da envolvente das edificações), traduzido no exemplo apresentado pelas diferenças de temperaturas superficiais interiores encontradas relativamente aos casos em que exista isolamento térmico. É claro que de acordo com o RCCTE [08] não seria aprovada a adopção de uma cobertura em terraço com um $U=1,83 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, mas valores superiores a este podem encontrar-se nos casos das referidas pontes térmicas planas; é por essa razão que o actual regulamento de térmica obriga também ao tratamento térmico dessas zonas singulares da envolvente dos edifícios, exactamente para minimizar a ocorrência de condensações e da patologia que em geral lhe está associada (formação de bolores e fungos).

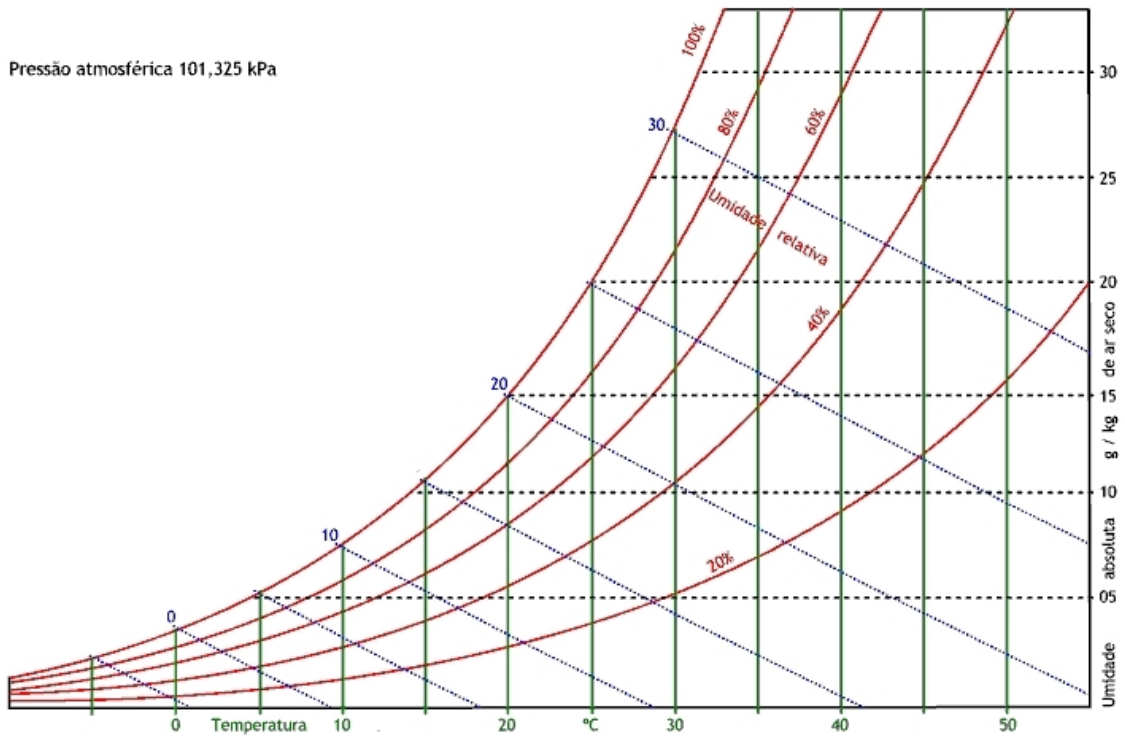


Fig. 31 - Gráfico psicrométrico

CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

4.1. Classificação de sistemas

Os sistemas de impermeabilização são passíveis de várias classificações, de modo semelhante ao definido para as coberturas. As mais frequentes têm como base os tipos de materiais e técnicas utilizados ou o tipo de ligação ao suporte. Deste modo, os sistemas podem classificar-se:

a) Quanto à constituição

- Sistemas tradicionais;
- Sistemas não tradicionais.

De notar que cada um destes sistemas pode ser executado in situ ou recorrer a produtos prefabricados. Outro ponto a reter é o facto de os materiais que integram um sistema poderem integrar um outro.

b) Quanto ao modo de ligação ao suporte

Os sistemas de impermeabilização podem ainda ser classificados quanto à forma da sua ligação ao suporte em:

- sistemas aderentes;
- sistemas semi-aderentes (ou semi-independentes).
- sistemas independentes;
- sistemas de fixação mecânica.

b.1) Sistemas aderentes

Os sistemas aderentes podem ser realizados utilizando processos distintos:

- produtos de ligação, aplicados a quente ou a frio, que podem ser betumes e colas adequadas;
- fusão, por acção do calor, do material superficial do revestimento (obtida com maçarico no caso de membranas betuminosas ou pistola de ar quente no caso de

membranas termoplásticas e ainda, nalguns casos, de membranas betuminosas), sendo de seguida pressionado esse material contra o suporte.

Deve notar-se que este tipo de ligação pode conduzir mais facilmente que os outros tipos à fissuração do revestimento de impermeabilização devido a deformação do suporte no seu plano, a qual conduza à formação de fendas, ou à variação da abertura das juntas de painéis isolantes que constituam esse suporte.

b.2) Sistemas semi-independentes (semi-aderentes)

Os sistemas semi-independentes (ou semi-aderentes) utilizam técnicas que dependem do tipo de produtos usados na ligação (aplicados a quente ou a frio), e do tipo de material auxiliar utilizado (feltros simples ou betuminosos, perfurados em percentagem definida - 15% a 50% - cujas perfurações apresentam um diâmetro fixo e espaçamento constante, determinando deste modo a percentagem de aderência da membrana ao suporte).

Este sistema de impermeabilização resiste melhor às deformações do suporte referidas em b.1).

b.3) Sistemas independentes (não-aderentes)

Os sistemas independentes (ou não aderentes) são executados directamente sobre o suporte, separados deste por uma camada de separação (feltros de fibra de vidro, papel kraft, feltros betuminosos acabados inferiormente com grânulos de cortiça ou de poliestireno expandido, etc).

De todos os métodos indicados, este é aquele que melhor resiste ao aparecimento de fissuras.

b.4) Sistemas fixados mecanicamente

A fixação mecânica é um processo que utiliza peças específicas, fabricadas em aço galvanizado, aço inox ou temperado, alumínio ou plástico, para fixar o revestimento de impermeabilização ao suporte. É especialmente utilizado em estruturas resistentes constituídas por chapas metálicas nervuradas ou elementos de madeira ou seus derivados. Uma particularidade dos sistemas de fixação mecânica, é o facto de fixarem também as camadas subjacentes à impermeabilização, caso existam.

Dependendo da forma como é transmitido à impermeabilização o aperto dos parafusos ou rebites, a fixação mecânica pode ser designada por pontual ou linear.

Na fixação pontual, cada peça de fixação dispõe de um elemento de distribuição da força de aperto (geralmente uma anilha).

Na fixação linear, o elemento de distribuição das forças de aperto desenvolve-se predominantemente numa direcção, recebendo as forças de aperto de vários parafusos ou rebites colineares, as quais se pretende que sejam transmitidas o mais uniformemente possível sobre a impermeabilização.

4.2. - Materiais usados em sistemas de impermeabilização

4.2.1 - Sistemas tradicionais

4.2.1.1 - *Aplicados “in situ” em camadas múltiplas de emulsões betuminosas*

As emulsões betuminosas são uma dispersão de pequenas partículas betuminosas, num líquido. Estas emulsões podem ser aniónicas (alcalinas) ou catiónicas. Como agente emulsionante, temos o sabão nas aniónicas e a argila nas emulsões catiónicas.

Estes sistemas são constituídos por várias camadas de emulsão, três a cinco, intercaladas ou não por armaduras, das quais a mais corrente é a armadura de fibra de vidro. A massa total dos sistemas está entre os 3 kg/m² e os 6 kg/m², esta última no caso de cinco camadas.

4.2.1.2 - *Com produtos prefabricados em camadas múltiplas de membranas betuminosas*

As membranas betuminosas são a designação geral dada a produtos prefabricados, comercializados em peças geralmente integrando uma armadura recoberta por uma mistura betuminosa.

O seu fabrico inicia-se pela secagem das armaduras, impregnação e recobrimento de mistura betuminosa e, por fim, a colocação de material de protecção, na sua superfície ainda quente. Estas membranas são comercializadas em rolos geralmente de 1,0 m de largura e comprimentos vários, consoante a sua espessura.

4.2.2 - Sistemas não tradicionais

4.2.2.1 - Aplicados “in situ”

Estes sistemas integram materiais formados por um ou dois componentes, sendo aplicados sob a forma líquida ou pastosa. A cura é obtida por evaporação dos solventes ou reacção química, no caso de produtos de um só componente, e apenas por reacção química nos de dois componentes.

Os sistemas poderão integrar, ou não, armaduras de origem diversa, com a função de aumentar a resistência à tracção e rasgamento, bem como a resistência ao punçoamento.

A base destes produtos são as resinas, podendo alguns conter materiais betuminosos. Os principais sistemas de impermeabilização usando estes produtos, são:

- Camadas múltiplas de resinas acrílicas;
- Camadas múltiplas de resinas poliméricas;
- Camadas múltiplas de emulsões de betumes modificados;
- Espumas de poliuretano (têm a particularidade de ser simultaneamente um sistema de impermeabilização e isolamento térmico);
- Resinas de poliéster.

4.2.2.2 – Com produtos prefabricados

Os sistemas não tradicionais de impermeabilização são constituídos fundamentalmente por membranas. É usual agrupar estes sistemas em três grupos de membranas de impermeabilização:

a) Betumes-polímeros

Neste grupo encontram-se membranas de betume modificado por um dos seguintes polímeros:

- Polipropileno atático, dando origem a membranas de betume-polímero APP;
- Polímero de estireno-butadieno-estireno, dando origem a membranas de betume-polímero SBS.

b) Membranas termoplásticas

- PVC plastificado;
- Poliolefinas.

c) Membranas elastoméricas

- Vulcanizadas:

- Monómero de etileno-propileno-dieno (membranas EPDM);
- Borracha butílica;
- Neoprene.

- Não-vulcanizadas:

- Polietileno clorossulfonado (membranas CSPE);
- Polietileno clorado (membranas CPE);
- Polisobutileno (membranas PIB).

4.3 - Soluções construtivas em pontos singulares da cobertura

De um modo geral, qualquer impermeabilização apresenta uma zona corrente de aplicação e alguns pontos singulares nos quais se incluem, por exemplo, as juntas de dilatação (movimentação e dessolidarização), as construções e elementos emergentes (muretes, platibandas, chaminés, tubos e suportes de equipamentos), os dispositivos para drenagem de águas pluviais e remates de soleiras de vãos que abrem para a cobertura.

Da cuidada execução de uma impermeabilização, particularmente nestes pontos singulares, depende uma estanquidade adequada que só pode ser garantida quando forem tomadas algumas precauções, tais como:

- iniciar a impermeabilização pelos pontos singulares, prosseguindo posteriormente pela zona corrente, iniciando-se aí a partir das zonas de menor cota;
- todos os remates devem ser completamente aderentes, independentemente do tipo de ligação utilizado no revestimento de impermeabilização da zona corrente. Os remates devem ainda ser reforçados, garantindo assim uma maior resistência ao arrancamento, deslizamento ou fissuração;
- ao utilizar acessórios e produtos complementares, garantir que estes sejam os indicados pelo fabricante da impermeabilização, contribuindo assim para uma total

compatibilidade entre os produtos utilizados.

Dada a importância dos pontos singulares da cobertura, nomeadamente pela maior dificuldade de execução dos respetivos remates da impermeabilização e pelo maior número de causas de patologia que neles têm origem, será dado um tratamento especial a estas zonas da cobertura. Assim, nos itens seguintes são apresentados alguns pormenores relativos aos pontos singulares mais comuns.

4.3.1 - Remate da impermeabilização em platibandas e paredes emergentes

Nestes elementos deve ser executado um remate em todo o perímetro da zona corrente, numa altura variando entre 15 a 30 centímetros, acima do piso acabado. Este remate permite diminuir a possibilidade da água acumulada no pavimento impermeabilizado, após uma chuvada, por exemplo, se infiltrar através das zonas superiores dos elementos emergentes.

Os ângulos salientes ou reentrantes devem ser arredondados ou chanfrados, contribuindo para uma melhor aderência, particularmente das membranas betuminosas. Ainda para aumentar a resistência da zona dos remates aos esforços mecânicos, deve ser aplicada nessa zona uma banda de reforço com cerca de 30 centímetros de largura.

Quando executado em elementos de alvenaria ou betão, o remate deve ficar embutido em roços, ou, em alternativa, protegido superiormente por elementos prefabricados (por ex. rufos em chapa de zinco).

Esta última opção deve também ser utilizada quando o elemento emergente for constituído por materiais que não permitam de forma fácil a abertura de roços.

As figuras seguintes ilustram dois exemplos de remate em elementos emergentes.

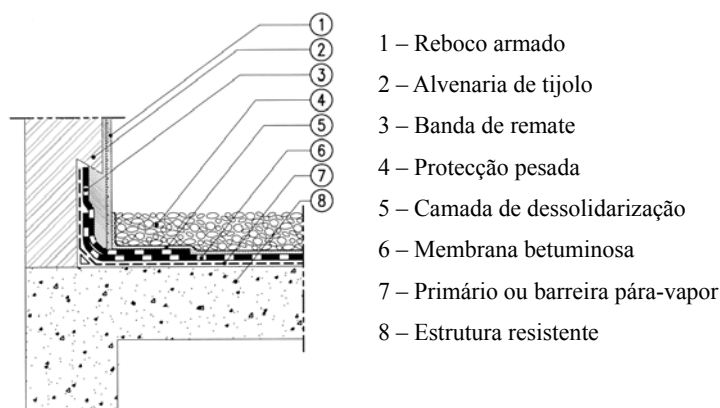


Fig. 32 – Exemplo de remate em parede emergente (1) [20]

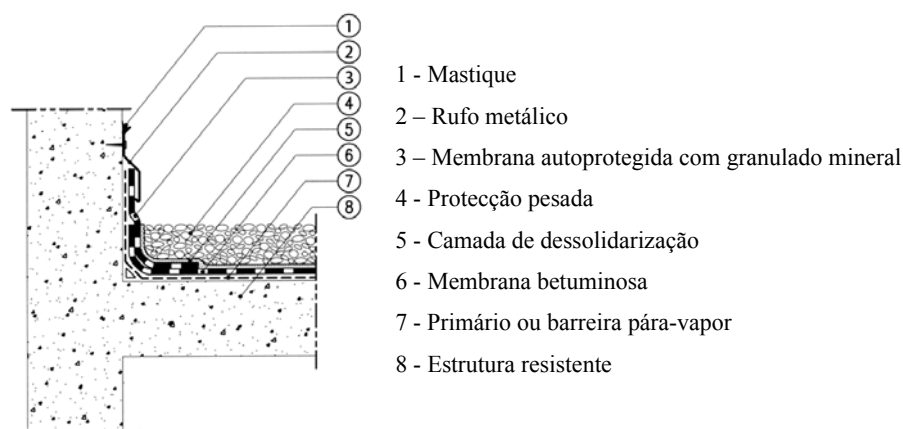


Fig. 33 – Exemplo de remate em parede emergente (2) [20]

4.3.1.1 – Coroamento de platibandas

Na aplicação da impermeabilização em platibandas, é conveniente que as membranas se prolonguem até cobrir a face superior do murete, especialmente se esse murete não tem uma altura significativa (até cerca de 0,5 m). O remate pode ser obtido pela utilização de peças prefabricadas em pedra, betão, cerâmica ou metálicas. Estas peças deverão ter, preferencialmente, uma ligeira pendente para o interior da cobertura.

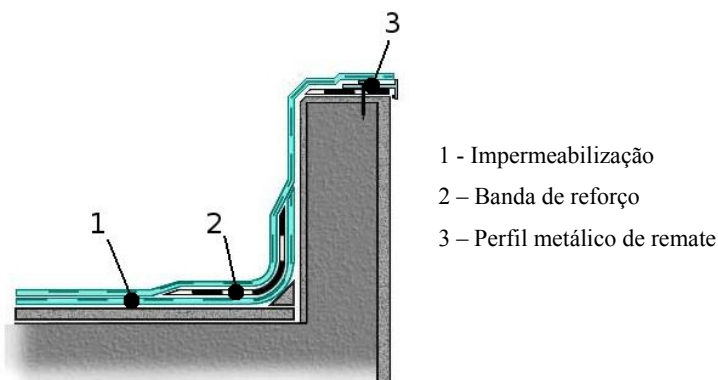


Fig. 34 – Exemplo de remate de impermeabilização em platibanda [30]



Fig.35 – Capeamento pré-fabricado em betão para remate em platibanda [37]



Fig. 36 – Capeamento metálico para remate em platibanda [33]

4.3.2 – Vedação do contorno de peças que atravessam a cobertura

O remate da impermeabilização em tubos emergentes deve ser realizado de modo a garantir uma perfeita aderência à superfície dos mesmos, embora sejam de considerar os movimentos provocados pela dilatação e contracção a que esses tubos estão sujeitos, não só pelo efeito da temperatura ambiente, mas também pela temperatura de fluídos que neles possam circular. Estes efeitos são minimizados pela utilização de um cordão flexível, aplicado junto à base do remate.

A estanquidade na parte superior do remate fica garantida pela aplicação de acessórios que permitam a cintagem da impermeabilização.

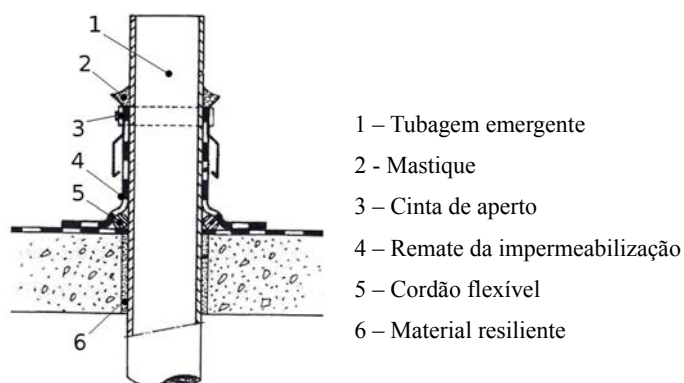


Fig. 37-Exemplo de remate em tubo emergente [05]

4.3.3 – Remate em apoios de equipamentos

As soluções a adoptar em remates de apoios de equipamentos devem ter em consideração o facto destes apoios serem em geral fixados por meio de parafusos ou por varões roscados, previamente embebidos na estrutura resistente.

Uma solução construtiva possível é a envolvência do suporte pela impermeabilização e, à semelhança dos tubos emergentes, aplicar uma cintagem na parte superior do remate, como já ilustrado na fig. 37. Esta solução torna-se possível sempre que o suporte apresente superfícies lisas, sem reentrâncias ou outros relevos que dificultem a aderência da impermeabilização.

Outra solução, será a criação de um maciço em betão envolvendo a base do apoio, previamente fixada à camada de suporte da impermeabilização. Este maciço pretende eliminar as irregularidades resultantes dos elementos de fixação ou da forma do apoio, facilitando a aderência da impermeabilização, como ilustrado na fig. 38.

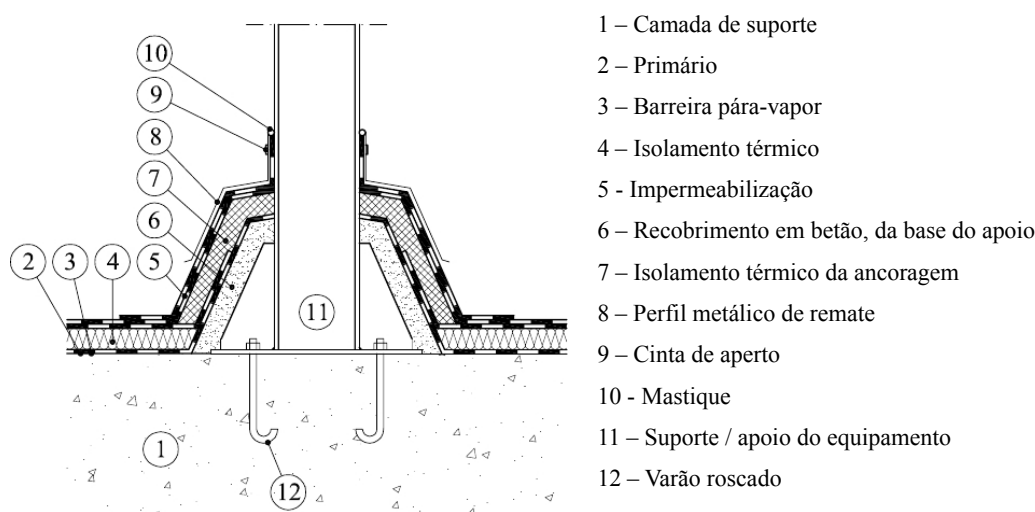


Fig. 38 – Exemplo de remate em apoio de equipamento com base envolvida em betão[03]

4.3.4 – Dispositivos de drenagem de águas pluviais

Nos dispositivos de drenagem de águas pluviais, incluem-se caleiras e tubos de queda.

De um modo genérico, em coberturas planas não é necessária a existência de caleiras,

pois a camada de forma com a respectiva pendente, encarrega-se de encaminhar as águas pluviais até aos dispositivos de evacuação vertical.

Estes dispositivos são constituídos por vários acessórios, compreendendo uma tampa perfurada designada por ralo (ou por ralo de pinha quando este tem essa forma), que encaixa num acessório (boca de descarga), sendo este por sua vez, introduzido no tubo de queda (Fig. 39).

O remate da impermeabilização num tubo de queda necessita que a camada de suporte possua uma zona rebaixada de cerca de 10 mm, com diâmetro ou dimensão suficiente para acomodar a boca de descarga, evitando assim que nessa zona surja uma sobrelevação na impermeabilização que dificultaria o escoamento.

É também aconselhável que se garanta um afastamento do tubo de queda a elementos circundantes (muretes, platibandas, equipamentos técnicos, etc.), de modo a que a aba da boca de descarga seja completamente integrada no remate da impermeabilização.

Deve ainda garantir-se que o prolongamento da boca de descarga (canhão) seja introduzido no tubo de queda numa extensão suficiente que evite o refluxo ou o transbordamento da água no seu movimento de descida pelo tubo.

Por último, o remate deve ser completamente aderido, independentemente do sistema de impermeabilização usado.

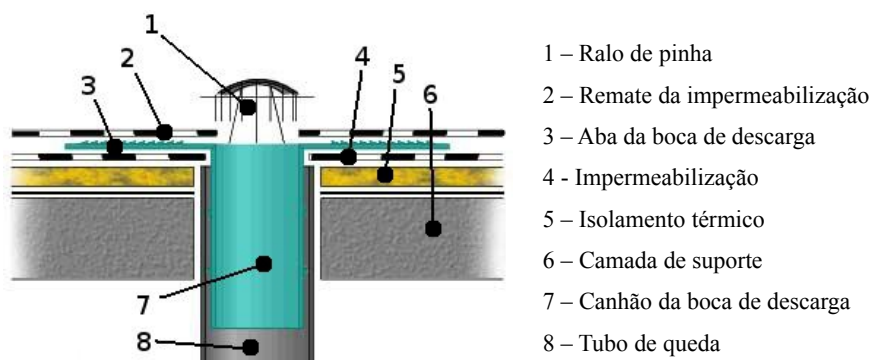


Fig. 39 – Exemplo de remate em dispositivo de drenagem vertical de águas pluviais [30]

4.3.5 – Juntas de dilatação

Na execução de juntas de dilatação, deve existir especial cuidado na eliminação de tensões devidas aos movimentos da camada de suporte, que possam surgir no material de

remate. Para isso, deve garantir-se que o remate apresente uma faixa não aderida de cerca de 15 centímetros para cada lado da junta [05]. A junta deve ainda incluir um empanque, constituído por um material flexível, servindo de suporte ao material do remate.

O interior da junta pode ser preenchido com um material flexível como, por exemplo, espuma de poliuretano ou de polipropileno ou painéis de lã de rocha.

Em coberturas acessíveis deve ser evitada a utilização de juntas ao nível da zona corrente, devendo utilizar-se juntas sobreelevadas que desse modo poderão estar mais protegidas das acções mecânicas resultantes da utilização da cobertura.

Quando as juntas forem sobreelevadas e se opte pela colocação de peças de coroamento (Fig. 41), estas devem ser dessolidarizadas do material de remate, caso contrário corre-se o risco de se instalarem tensões que poderão levar ao rasgamento ou fissuração desse remate.

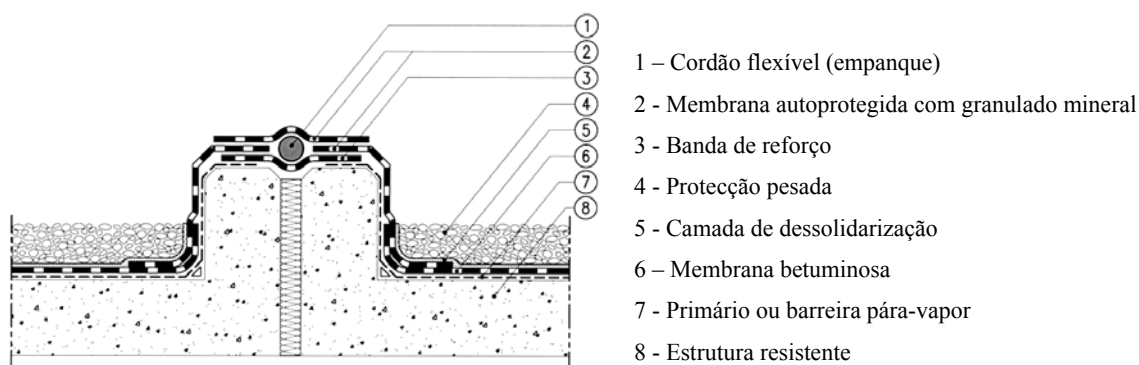


Fig. 40 – Exemplo de remate em junta de dilatação [20]

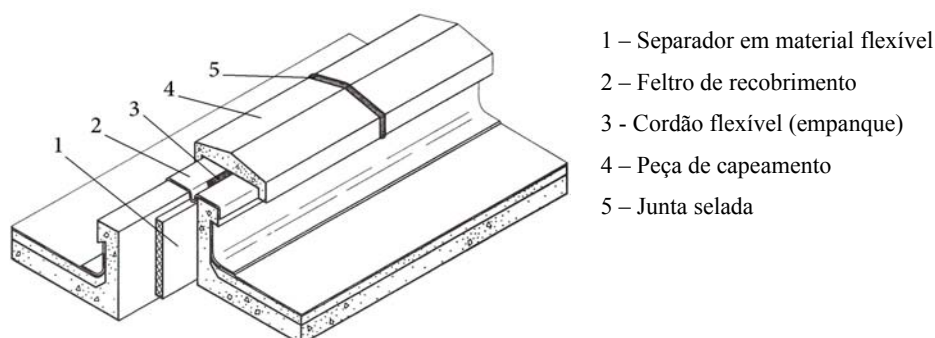
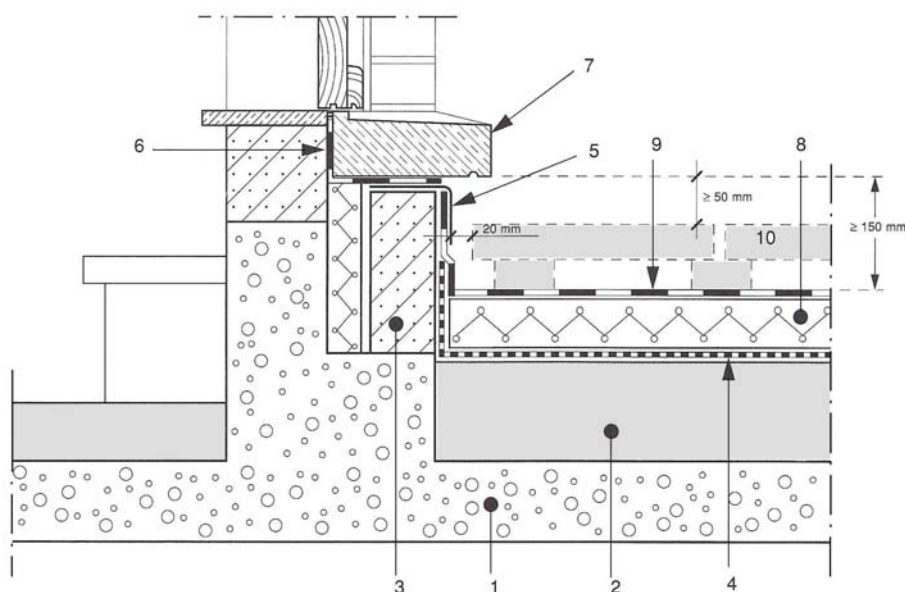


Fig. 41 – Utilização de capeamento na protecção de juntas de dilatação sobreelevadas [15]

4.3.6 – Vedação de soleiras de vãos abrindo sobre a cobertura

Na execução do remate da impermeabilização em soleiras, deve ser prevista uma altura entre o piso acabado e a face inferior da soleira de, no mínimo, 15 centímetros (Fig. 42). Os motivos desta exigência foram já referidos em 4.3.1.



- 1 – Camada de suporte
- 2 – Camada de forma (pendente)
- 3 – Apoio da soleira
- 4 – Camada pára-vapor (se necessário)
- 5 – Perfil metálico de protecção da impermeabilização
- 6 – Remate da impermeabilização
- 7 – Soleira assente sobre argamassa
- 8 – Isolante térmico
- 9 – Impermeabilização da cobertura
- 10 – Lajetas sobre base de apoio

Fig. 42 – Exemplo de remate de impermeabilização em soleira (adaptado) [03]

Quando não for possível garantir esta distância mínima ou, no limite, a face inferior da soleira se encontre ao nível do pavimento exterior, a impermeabilização deve prolongar-se sob a soleira, para o interior e para os lados do espaço interior. De acordo com indicações

apresentadas em publicações especializadas [02], a impermeabilização deve prolongar-se em cerca de 1 a 2 metros para o interior e 0,5 metro para cada um dos lados do vão (Fig. 43). Deve ainda garantir-se uma pendente de, pelo menos, 2% no pavimento exterior, numa distância mínima de 2,0 metros.

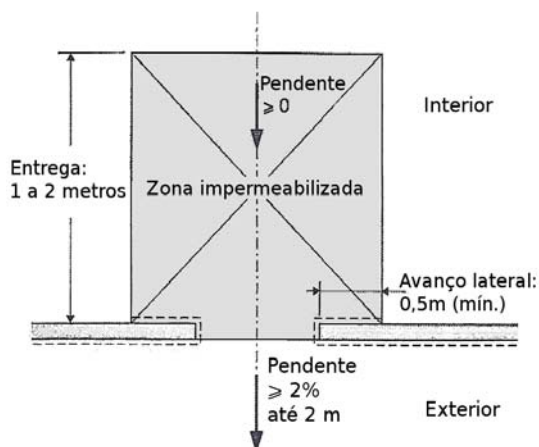


Fig. 43 – Recomendações para aplicação de impermeabilização em soleira de nível [02]

A mesma publicação apresenta ainda uma solução na qual as águas pluviais são desviadas da zona do vão pela aplicação de caleiras com grelha superior, como se ilustra na fig. 44. Esta solução obriga a que tenha sido prevista a execução da rede de drenagem correspondente.

Em qualquer das situações referidas, o assentamento da soleira não deve ser feito directamente sobre o material da impermeabilização, mas ser intercalada entre este e a soleira uma camada de argamassa preferivelmente armada.

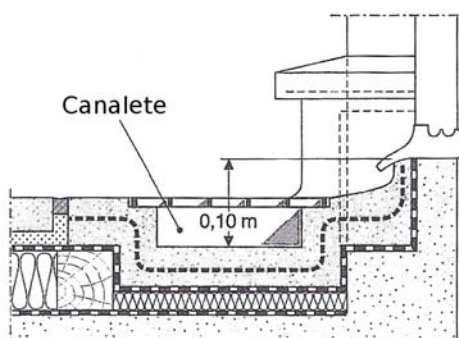


Fig. 44 – Utilização de caleira com grelha superior em soleira de nível [02]

CAPÍTULO 5 - ANOMALIAS EM IMPERMEABILIZAÇÕES DE COBERTURAS EM TERRAÇO

5.1 – Considerações preliminares

Para que uma impermeabilização resulte satisfatória, garantindo um longo prazo de eficácia, deverá ser dada a máxima atenção a todas as fases, desde a concepção até à colocação em obra dos materiais. Não pode deixar de ser, ainda, considerada a qualidade dos materiais, bem como a manutenção da impermeabilização após recepção da obra.

Dos factores referidos, a definição (concepção/projecto) da solução a adoptar, poderá eliminar senão a totalidade, pelo menos a maioria dos problemas que surgirão *a posteriori*. No entanto, não será de esquecer que, de uma forma ou de outra, as deficiências ao surgirem resultam geralmente de uma amálgama de erros e defeitos, integrados nas várias fases referidas.

Estas anomalias poderão ser agrupadas segundo vários critérios, entre os quais: natureza da construção (habitação individual, colectiva, industrial, comercial,...), idade da construção, tipo de suporte da impermeabilização (isolante ou não) e o tipo de protecção (pesada ou leve), tipo de sistema de impermeabilização ou localização na cobertura.

Dos defeitos detectados, resulta quase sempre a perda de estanquidade à água da impermeabilização e a conseqüente infiltração das águas através da cobertura. Um facto importante a referir é a constatação de que, em Portugal, as primeiras anomalias surgem após as primeiras chuvas depois de concluída a cobertura.

Estes defeitos (quando de execução) situam-se, de um modo geral, junto a pontos singulares da cobertura, nomeadamente junto a elementos emergentes e imergentes, sendo as embocaduras dos sistemas de evacuação de águas pluviais os elementos onde é mais frequente as anomalias ocorrerem [03].

Poderá ainda ser feita uma análise considerando o tipo de suporte do revestimento de impermeabilização. Neste caso, é frequente que os defeitos surjam em sistemas onde a impermeabilização foi aplicada sobre o isolamento térmico, quer este estivesse sobre uma estrutura resistente de betão ou chapas metálicas nervuradas. Só depois surgem os casos de anomalias em que a impermeabilização seja aplicada directamente sobre estruturas de suporte

de betão ou de madeira (e seus derivados) [03].

5.2 – Classificação dos principais casos de anomalias em coberturas em terraço

A patologia manifestada sob a forma de humidade, resulta maioritariamente de dois factores: a infiltração de água através da impermeabilização ou a condensação no tecto do último piso (e paredes adjacentes), do vapor de água existente no interior do edifício. As infiltrações resultam da perda de estanquidade da impermeabilização, como já referido, enquanto as condensações resultam das características do isolamento térmico da cobertura (vide Cap. 4) e da ventilação dos espaços subjacentes.

Também estas anomalias são passíveis de classificação segundo várias ópticas. Na continuação deste trabalho irá ser considerada a sua análise em duas classes:

- Anomalias surgidas em superfície corrente;
- Anomalias surgidas em pontos singulares.

Das anomalias em superfície corrente, destacam-se:

- Fissuração do revestimento de impermeabilização;
- Perfuração do revestimento de impermeabilização;
- Empolamentos.

Nas anomalias surgidas em pontos singulares, são de referir as descolagens de remates nos elementos emergentes e imergentes e o rasgamento ou fissuração de remates em juntas de dilatação ou outros elementos da cobertura, tais como:

- Soleiras de portas;
- Atravessamento da impermeabilização por tubagens;
- Pontos de drenagem de águas pluviais;
- Juntas de dilatação;
- Platibandas e paredes emergentes.

5.3 – Análise das principais causas de anomalia em coberturas em terraço

5.3.1 – Anomalias em superfície corrente

5.3.1.1 - Fissuração do revestimento de impermeabilização

a) Acção da camada de protecção

Este tipo de patologia é, em geral, resultante dos movimentos das camadas em contacto com a impermeabilização, e pode resultar de:

- Falta de camada de dessolidarização: os movimentos da camada sobrejacente poderão ter uma amplitude superior à deformação suportada pelo material da impermeabilização, dando-se a rotura da membrana; a existência desta camada de dessolidarização reduz ou elimina a transmissão desses movimentos e as consequências referidas.

- Deslocamento / diminuição da camada de protecção pesada solta: o arrastamento dos elementos soltos da protecção pesada (por acção do vento, chuva ou outra), levará ao envelhecimento prematuro do material da impermeabilização pela sua exposição excessiva à radiação solar, o que pode provocar a fissuração das membranas de impermeabilização. Torna-se assim necessário dispor de uma espessura adequada da protecção pesada, especialmente quando se pretende reduzir a possibilidade dos deslocamentos re-
periféricas da cobertura por ser aí que os componentes tendem a deslocar-se nessas zonas lajetas de betão, francamente menor.

- Desprendimento do granulado mineral: a separação do granulado (protecção leve) da superfície superior da membrana, por acção do vento e, principalmente, por acção da água da chuva, expõe a impermeabilização à radiação solar, levando ao seu envelhecimento prematuro e conseqüente fissuração. Esta patologia está normalmente associada as



Fig. 45 - Arrastamento dos elementos da protecção pesada, por acção do vento [05]

deficiências no processo de fabrico das membranas ligadas à colocação da protecção em questão.

- Fendilhação da camada de protecção pesada rígida: a fendilhação da camada de protecção pode levar a água até à membrana de impermeabilização. Se existirem fendas nesta impermeabilização provocadas pelos movimentos da protecção pesada (resultantes por exemplo, da falta de uma camada de dessolidarização), dá-se a infiltração. Se, além disso, o sistema for não aderente, o aparecimento de humidades pode dar-se num local afastado da fissura que lhe deu origem, dificultando a localização da rotura e a irradicação do problema. Para limitar essa fendilhação da protecção pesada deve essa camada ser esquartelada com juntas devidamente afastadas entre si (3 a 4 m são valores correntes para essa separação).

b) Acção do suporte do revestimento

- Compatibilidade química: deverá ser evitado o contacto entre alguns tipos de membranas em PVC e suportes isolantes de poliestireno expandido ou poliuretano. Mais grave é o contacto destas membranas com produtos betuminosos, pois pode haver migração dos plastificantes do PVC, tornando esta membrana menos flexível e, portanto, mais frágil. Excluem-se os casos em que a membrana de PVC seja explicitamente compatível com betumes, como acontece com algumas formulações. Cuidados especiais nestes casos devem ser tidos em conta quando se trate de trabalhos de reabilitação de coberturas sem a remoção de produtos betuminosos existentes.

- Ligação do revestimento impermeabilizante ao suporte: por forma a evitar a

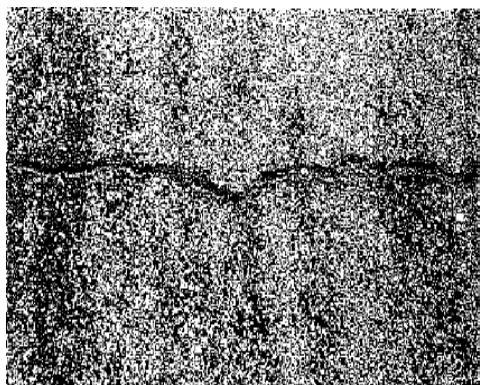


Fig. 46 - Exemplo de fissuração [02]

influência dos movimentos da camada de suporte no aparecimento de fissuras no material da impermeabilização, é aconselhável que o sistema seja independente (não aderente). A melhor forma de garantir a separação efectiva entre estas duas camadas, será através do uso de uma camada de dessolidarização. Quando o sistema é aderente a armadura passa a ter uma função importante, pois será ela que mais contribuirá

para absorver os movimentos do suporte; assim, serão mais aconselháveis armaduras de poliéster em vez de feltros de fibra de vidro.

- Juntas de dilatação: os movimentos da camada de suporte devido, principalmente, a dilatações térmicas, provoca a expansão e contracção das juntas de dilatação. Este movimento cíclico cria tensões no material impermeabilizante, resultantes de deformações superiores às admissíveis, que poderão levar à sua rotura. Para o evitar é necessário a colocação de uma banda de dessolidarização, constituída por um feltro de fibra de vidro de gramagem elevada ou poliéster (ou outra solução com desempenho semelhante). Estas bandas reduzem as extensões no remate da impermeabilização por ser maior a zona *lo* sujeita à mesma deformação absoluta Δl ($\epsilon = \Delta l / l_0$).

5.3.1.2 - Perfuração do revestimento de impermeabilização

A perfuração da camada de impermeabilização resulta em grande parte da actuação de cargas pontuais sobre a impermeabilização ou por baixo dela. Essa acção pode ser de origem:

- Dinâmica (Curta duração): as acções dinâmicas ou de curta duração são, normalmente, a principal causa de rotura por perfuração. Resultam da queda de objectos diversos, de acção cortante.

- Estática (Longa duração): a perfuração pode também resultar de acções de natureza estática, também designadas permanentes ou de longa duração. Estas acções resultam da colocação sobre a impermeabilização de equipamentos (máquinas, andaimes, cavaletes, etc.), que provocam a deformação contínua e prolongada na camada de impermeabilização, podendo levar à rotura. Este tipo de efeito é mais notório em coberturas tradicionais, quando a impermeabilização se encontra sobre a camada de isolamento térmico de baixa resistência à compressão ou de compressibilidade elevada.

Algumas das soluções para o problema passam pela execução de camadas de protecção, ou a criação de caminhos de circulação em coberturas não acessíveis.

Se as acções atrás referidas atuam pelo lado superior da impermeabilização, outras há que atuam sob a mesma; é o caso dos sistemas fixados mecanicamente sobre suportes isolantes de compressibilidade incompatível com as cargas sobrejacentes, utilizando anilhas

não solidárias com os parafusos de fixação.

5.3.1.3 - Empolamentos

Os empolamentos resultam da formação de bolsas de ar e vapor de água sob pressão. Surgem entre as camadas dum sistema de impermeabilização, ou entre o revestimento de impermeabilização e o seu suporte. Estas bolsas de ar têm origem no seguinte:

- Inexistência de colagem em zonas localizadas de sistemas aderentes;
- Falta de planeza dos painéis do isolamento térmico ou encurvamento dos mesmos, quando o sistema de impermeabilização é aplicado sobre estes painéis;
- Aplicação de membranas com deformações, provocadas por deficiente armazenamento das respectivas peças;
- Materiais estranhos (detritos) existentes sob o material impermeabilizante.

Estes empolamentos são facilmente perfurados por acção da circulação de pessoas, queda de equipamentos ou objectos cortantes. Das soluções possíveis para evitar esta patologia, destaca-se:

- Aplicação cuidada das membranas, nomeadamente deixando-a repousar antes de a ligar ao suporte;
- Utilização de materiais com características dimensionais apropriadas;
- Superfícies do suporte desempenadas;
- Aplicação de protecção pesada, eventualmente recorrendo à execução de cobertura invertida;
- Colocação de chaminés de ventilação: colocadas a partir da camada pára-vapor, auxiliam a dissipação da pressão do vapor de água (Fig. 21).

5.3.1.4 - Acção de factores atmosféricos

As características de qualidade dos revestimentos de impermeabilização podem ser afectadas gravemente pela acção de agentes atmosféricos, tais como a acção do vento, o

contacto prolongado com a água e a radiação solar, a acção do calor ou de baixas temperaturas e da radiação ultravioleta. As razões das anomalias prematuras daí decorrentes são apresentadas a seguir.

a) *Vento*

a.1) *Arrastamento da protecção pesada quando realizada com elementos soltos*

- Por insuficiente espessura da camada de protecção.
- Granulometria diminuta desses elementos.

Esta anomalia resulta de serem os elementos soltos facilmente arrastáveis pelo vento, iniciando-se este arrastamento nas zonas periféricas das coberturas. A correcção desta anomalia pode ser feita através do aumento da espessura da camada de protecção pesada, do aumento da granulometria dos agregados ou da colocação duma protecção pesada constituída por lajetas de betão nas zonas de maiores coeficientes de pressão, por exemplo.

a.2) *Arrancamento do revestimento de impermeabilização*

Esta situação verifica-se nos casos de existência de protecção pesada solta, mas também nos casos de protecção leve. No caso de protecção leve, a qualidade da aderência ao suporte é a razão principal para tal ocorrência. Esta aderência pode ser correctamente garantida por:

- Colagem com betume quente ou colas específicas. A qualidade da ligação depende da quantidade e qualidade do produto de colagem;
- Soldadura por meio de chama, na qual a qualidade depende da técnica/experiência do aplicador;
- Fixação mecânica, na qual se mostra importante a quantidade das fixações e a qualidade destas ao suporte. A



Fig. 47 - Arrancamento da impermeabilização [05]

rotura do material pode dar-se pelas fixações ou na zona de sobreposição das membranas, por pelagem ou corte das respectivas juntas.

b) Acção prolongada da água

A presença prolongada da água numa cobertura pode ter origem em várias situações anómalas, resultantes de disposições construtivas não adequadas, das quais se podem salientar como mais frequentes as seguintes:

- Reduzida pendente;
- Camada de forma de conformação não satisfatória;
- Obstrução de caleiras ou de saídas de águas pluviais;
- Deformação acentuada dos suportes.



Fig. 48 - Deficiente escoamento resultante de má conformação da pendente [38]

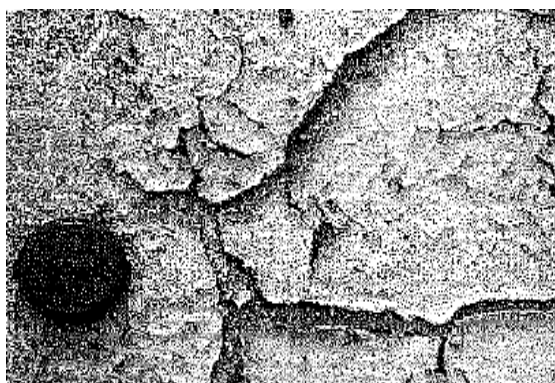


Fig. 49 - Degradação da impermeabilização resultante da presença prolongada da água [02]

As patologias surgidas da presença prolongada da água, manifestam-se com maior ou

menor grau em função de factores relacionados com a constituição dos materiais da impermeabilização, salientando:

- Natureza das armaduras: as armaduras de origem orgânica são particularmente sensíveis à presença da água, daí serem os feltros betuminosos com este tipo de armadura as membranas de impermeabilização que maior sensibilidade apresentam àquele agente de envelhecimento;
- Quantidade de material de recobrimento das armaduras;
- Tipo de acabamento das membranas: nas membranas acabadas com folhas de plástico nota-se uma maior resistência aos efeitos da água, comparativamente com as acabadas com granulado mineral.

c) Temperatura

O efeito da temperatura elevada sobre os revestimentos de impermeabilização (já referido noutros pontos deste trabalho), traduz-se pela degradação das suas características físicas e químicas, levando em última instância à fissuração desse revestimento. Podem considerar-se como efeitos da acção do calor:

- Endurecimento e retracção: provocado pela perda progressiva de matérias voláteis, nomeadamente plastificantes, no caso das membranas de PVC.
- Formação de pregas (Fig. 50): a formação de pregas surge da diferença entre os coeficientes de dilatação térmica dos constituintes das membranas, como é o caso especial das membranas betuminosas revestidas a folha de alumínio. Também se pode observar a formação de pregas noutros tipos de sistemas sem protecção pesada (como poderá acontecer em sistemas aderentes de membranas de borracha butílica). De referir que são as membranas não armadas que apresentam em geral maiores deformações deste tipo e que dentro do grupo das armaduras, as de feltros de poliéster são as que costumam também apresentar maiores variações dimensionais devidas às variações térmicas.
- Degradação por má técnica de aplicação (Fig. 51): a ligação das membranas ao suporte e nas juntas de sobreposição é normalmente realizada pela aplicação de calor, especialmente em Portugal. No caso das membranas de PVC, o calor é aplicado por

uma pistola de ar quente, enquanto no caso de membranas betuminosas, o calor pode ser proveniente de um maçarico de chama. O aplicador deverá ter em conta este facto, de modo a não danificar as membranas e as respectivas armaduras, sendo que, em relação a estas, as armaduras de polietileno são as mais sensíveis.

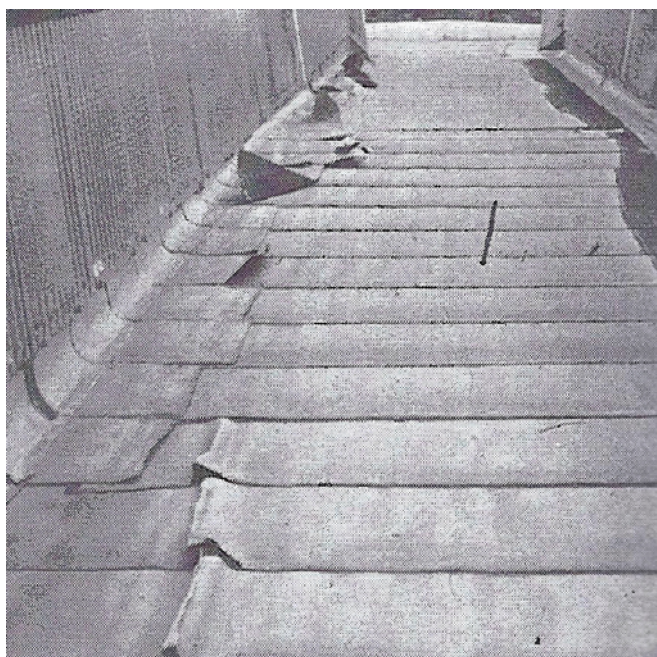


Fig. 50 - Formação de pregas na impermeabilização [02]



Fig. 51 - Descolamento da junta da impermeabilização [38]

d) Radiação ultravioleta

Os efeitos da radiação ultravioleta sobre os diferentes tipos de membranas traduzem-se, normalmente, na gradual perda de ductilidade, levando a uma maior probabilidade de fissuração, resultante, por exemplo, dos deslocamentos do suporte. As principais anomalias detectadas nas principais membranas são:

- Membranas betuminosas: alterações na composição do betume;
- Membranas de PVC: perdas significativas do plastificante;
- Membranas de EPDM: redução da capacidade de deformação.

5.3.2 – Anomalias em pontos singulares

Outros locais das coberturas onde costuma ser bastante provável a ocorrência de patologias, são os remates em pontos singulares, como platibandas e paredes emergentes, juntas de dilatação e embocaduras de drenagem de águas pluviais. Descrevem-se seguidamente as principais anomalias que se podem manifestar nesses pontos singulares e a razão da sua ocorrência.

5.3.2.1 - Anomalias em platibandas e paredes emergentes

Nestes elementos pode surgir uma grande quantidade de anomalias, entre as quais:

a) Descolamento de remates

O descolamento poderá ser provocado pelas deficientes condições da superfície de aplicação, pela configuração particular do elemento emergente ou pelas condições atmosféricas em que se realizou a colagem. A altura do remate e

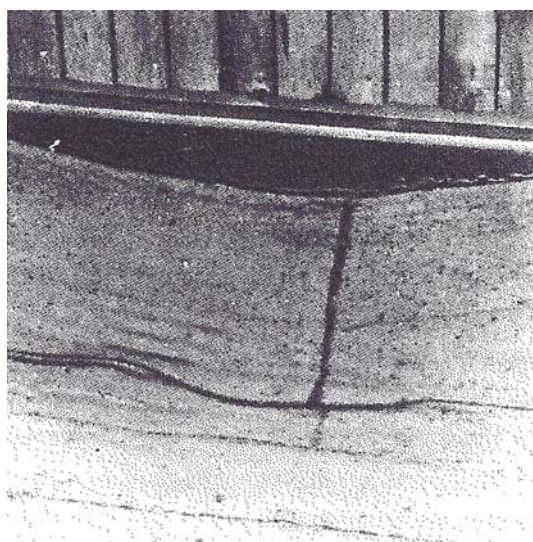


Fig. 52 - Deslizamento do remate em murete [05]

o tipo de mistura betuminosa pode também contribuir para o descolamento desse remate. É sabido o pior comportamento à acção do calor das membranas de betume oxidado em comparação com as de betume polímero (APP ou SBS).

b) Fluência ou deslizamento

Manifesta-se particularmente nos revestimentos de base betuminosa devido à acção do calor e resulta, em geral, da falta de uma fixação mecânica complementar quando a altura do remate é significativa (ver também justificações no item anterior).

c) Insuficiência da altura dos remates

Considera-se como aceitável uma altura mínima de 0,15 m acima da última camada da impermeabilização. Para menores valores, torna-se difícil executar correctamente o respectivo remate, seja ele feito por inserção da membrana na parede ou platibanda, seja por recurso a rufos de recobrimento. Por esse facto, podem resultar zonas menos bem aderentes desses remates, por onde em geral se iniciam os descolamentos.

d) Fissuração de remates

Este tipo de anomalia surge normalmente em situações em que se verifica:

- acção da protecção pesada rígida do sistema de impermeabilização sobre o remate vertical por falta de juntas de fraccionamento ao longo dos elementos de construção (muretes e platibandas). Por facilidade de execução esse fraccionamento deve ser feito a uma certa distância do elemento vertical (0,3 a 0,5 m costuma ser uma distância aceitável);
- Falta de protecção vertical do remate da impermeabilização, particularmente em coberturas acessíveis. Também esta protecção deve ter juntas de fraccionamento, afastadas de cerca de 2,0 m;
- Falta de bandas de dessolidarização nas juntas entre os elementos da platibanda, quando esta é composta por elementos prefabricados;
- Falta de protecção térmica nas platibandas, especialmente quando a sua altura é significativa. Nestes casos é normal observarem-se fissuras no paramento exterior das paredes ao nível das coberturas, através das quais é possível a entrada da água das chuvas.

5.3.2.2 - Anomalias em juntas de dilatação

As principais anomalias detectadas em juntas de dilatação compreendem:

- Descolamento das juntas de sobreposição dos remates;
- Fissuração ou enrugamento dos remates.

Qualquer uma destas situações tem origem em defeitos de concepção, podendo estes ser reduzidos pela adopção de medidas simples, tais como:

- Aplicação de uma faixa dessolidarizadora com pelo menos 0,15 m para cada lado da junta, em conjunção com um empanque (fundo de junta), comprimido nessa junta, servindo de suporte ao remate.
- No caso deste remate estar protegido por protecção pesada (em superfície corrente), esta deverá também estar separada da impermeabilização no local da junta, especialmente se essa protecção for rígida. Para tal pode ser usado um feltro de poliéster ou fibra de vidro.
- Em capeamentos de muretes ou platibandas, executadas com elementos de pedra, betão prefabricado ou chapa metálica, o remate deverá ser executado sob estas peças quando ele se desenvolver até ao topo da platibanda. Deverá ser garantida a estanquidade da junta das peças do capeamento, e estas peças devem ser providas de pingadeiras.

5.3.2.3 - Anomalias em pontos de evacuação de águas pluviais

As razões principais pelas quais surgem problemas junto aos pontos de evacuação de águas pluviais, resultam da obstrução das respectivas embocaduras ou são motivadas por deficiente execução, dando-se como exemplos as situações anómalas em tubos de quedas e em caleiras.

a) Tubos de queda

- Obstrução
- A acumulação de detritos junto à embocadura, pode levar à sua obstrução, tais como

folhas ou granulado da protecção leve da última camada da impermeabilização. A obstrução pode ainda resultar da entrada de detritos para o próprio tubo de queda, por falta de ralo. Estas situações denunciam uma manutenção deficiente;

- Deficiente conformação de pendentes, originada pela sobrelevação da impermeabilização junto às embocaduras, resultante da ausência de rebaixo na camada de suporte, necessária para compensar a espessura extra dos acessórios e membranas de remate.

- Deficiente execução

- A deficiente conformação de pendentes, referida no ponto anterior, pode também aqui ser incluída, pois embora crie a dita obstrução (pela sobreposição de camadas da impermeabilização e acessório de transição para o tubo de queda) junto à embocadura é, principalmente, o resultado de uma má execução pela não execução do rebaixo na camada de suporte.

- Extensão insuficiente do remate da impermeabilização no canhão do acessório inserido no tubo de queda, que poderá inviabilizar a estanquidade nessa zona;

- Diâmetro do canhão superior ao do tubo de queda, resultando daí que é o acessório que envolve exteriormente o tubo de queda, quando deveria ser o contrário.

- Remate directo da impermeabilização com o tubo de queda, situação a evitar, pois a impermeabilização poderá não suportar os movimentos diferenciais entre o tubo e os elementos da cobertura, nomeadamente a estrutura resistente.

Na fig.53, que se apresenta a seguir, estão ilustradas algumas das anomalias referidas.



Fig. 53 - Anomalias junto a embocaduras de tubos de queda [38]

b) Caleiras

As anomalias mais significativas verificadas na impermeabilização de caleiras são originadas por:

- Descolamento de juntas de sobreposição das membranas

O descolamento de juntas pode dever-se a vários factores, tais como:

- Reduzida largura das juntas;
- Sentido inapropriado da aplicação/sobreposição das membranas: é importante que a membrana seja aplicada no sentido oposto ao do escoamento, de modo a evitar que a água no seu processo de escoamento atinja “de frente” o bordo da junta de sobreposição.
- Produtos de colagem de qualidade inferior;
- Deficiente execução, para a qual podem contribuir não só a ligação entre as membranas, como destas ao suporte, mas também a exiguidade das dimensões da caleira que poderão dificultar a operação de impermeabilização das mesmas.

- Fissuração de membranas

- Envelhecimento do revestimento da impermeabilização;
- Disposições construtivas insatisfatórias, que se fazem notar no bordo superior da caleira quando a impermeabilização inclui protecção pesada. Esta protecção apresenta dilatações por efeito térmico que têm o seu valor máximo na sua periferia, ou seja, no bordo superior da caleira, provocando tensões na membrana de remate dessa zona da caleira. Este efeito é ainda ampliado, caso a membrana esteja aplicada sobre isolamento térmico.



Fig. 54 - Deficiente manutenção (limpeza), originando acumulação de detritos na zona de menor cota da cobertura [38]

5.3.2.4 - Outras anomalias

Outros elementos construtivos onde surgem anomalias na impermeabilização, são as chaminés, tubos de ventilação e soleiras.

- Chaminés

Dado as soluções construtivas adoptadas nos remates da impermeabilização com as chaminés serem semelhantes às que se utilizam em platibandas ou paredes emergentes, as anomalias em ambos os casos também o serão;

- Tubos emergentes

As anomalias surgidas dos métodos usuais de realização de remates com tubos emergentes da cobertura, podem levar ao surgimento de dois tipos de fenómenos:

- Fissuração;

- Descolamento das membranas.

Tanto num caso como no outro, a deficiência surge dos grandes deslocamentos verticais a que estas tubagens podem estar sujeitas, e da deficiente protecção do bordo superior do remate. A sua correcção passa pela dessolidarização da impermeabilização junto à base do tubo e/ou de desligar o troço emergente da tubagem da restante tubagem, com a inclusão de um cordão flexível no contorno da tubagem e a protecção do bordo superior do remate, cintada e apertada por vedante adequado.

- Soleiras

As anomalias verificadas na zona das soleiras surgem especialmente nos casos de reparação (mas também muito em obra nova) da impermeabilização dos terraços ou varandas contíguas por ser, de um modo geral, pouco económico retirar e voltar a aplicar a soleira para executar a impermeabilização de uma forma conveniente, prolongando-a suficientemente para o interior.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

6.1 – Conclusões do TFM

Neste trabalho pretendeu-se analisar os processos e os materiais mais usuais na execução de isolamento térmico e impermeabilização de coberturas em terraço e os aspectos mais influentes no aparecimento de patologias que nestas coberturas podem ocorrer.

Relacionadas com a falta ou insuficiência de isolamento térmico referem-se o aparecimento de fungos e bolores provocados pelo fenómeno da condensação (ou da insuficiente ventilação dos compartimentos).

Com a impermeabilização referem-se as anomalias resultantes, principalmente, do grande número de situações construtivas (pontos singulares), que exigem por parte do projectista a definição da solução apropriada suficientemente pormenorizada e, por parte do aplicador, o maior cuidado na sua execução. Indica-se que as principais anomalias nas impermeabilizações estão associadas à perfuração e à fissuração dos materiais. A falta de manutenção das coberturas é também um dos motivos para uma mais rápida degradação dos materiais que as constituem.

Com a diversidade de soluções possíveis, apontadas neste trabalho, fica patente que é fundamental conhecer a utilização a dar à cobertura para se escolherem os materiais mais apropriados bem como os respectivos sistemas construtivos e técnicas de aplicação. É também importante ter uma equipa de aplicadores com experiência em cada tipo de solução adoptada, tendo especial atenção nas fases de execução das várias camadas e dos pormenores construtivos. Assim, é possível limitar ao máximo as soluções improvisadas em obra, pois são geralmente razão para a ocorrência de muitas das anomalias referidas.

A adopção de medidas de manutenção periódicas são um bom passo para prolongar o tempo de vida útil dos sistemas de impermeabilização e, por essa via, reduzir os custos associados à sua reparação ou substituição, contribuindo assim também para limitar a quantidade de resíduos da construção e demolição.

6.2 – Propostas de estudos futuros

Este trabalho não pretendeu, naturalmente, abarcar toda a temática relacionada com a impermeabilização e o isolamento térmico de coberturas planas, nem desenvolvê-la substancialmente, mas apenas realçar alguns aspectos em particular dessas coberturas. De resto, e cingindo-se apenas à temática da patologia, existe uma multitude de aspectos que poderão dar origem a estudos de interesse relevante.

Estão neste caso os seguintes:

- levantamento exaustivo de casos patológicos;
- análise das patologias encontradas;
- indicação de soluções de correcção ou de reabilitação;
- estudo e desenvolvimento de novos materiais para minimizar a ocorrência dessas anomalias;
- desenvolvimento de modelos físicos ou matemáticos explicativos das principais anomalias ou do comportamento dos sistemas construtivos;
- desenvolvimento de regras de concepção (projecto) e eventualmente a criação de legislação mais detalhada sobre o tema, como noutras tarefas de construção civil.

José António Rodrigues Lages Alves

Janeiro de 2013

Bibliografia:

- [01] Schild; Oswald; Rogier; Schweikert - L'Étanchéité dans l'habitation. Paris: Éditions Eyrolles, 1978
- [02] Bureau Veritas - Couvertures toitures-terrasses. 2.^a ed. Paris: Editions Le Moniteur, 1977. ISBN 2.281.11165-2
- [03] La toiture plat: exécution des ouvrages de raccord: De Pauw, Carlo. 2éme trimestre. Note d'information technique 191. Bruxelles: CSTC, 1994. ISSN 0528-4880
- [04] Hetreed, Jonathan - The damp house. 1.^a ed. Ramsbury: The Crowood Press Ltd, 2008. ISBN 978 1 86126 966 9
- [05] Lopes, Grandão – ITE 33: Anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço. 5.^a ed. Lisboa: LNEC, 2002. ISBN 972-49-1617-0
- [06] Lopes, Grandão – ITE 34: Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço. 4.^a ed. Lisboa: LNEC, 1998. ISBN 972-49-1618-9
- [07] Santos, Pina dos; Matias, Luís - ITE 50: Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. 2.^a ed. Lisboa: LNEC, 2006. ISBN 972-49-2065-8
- [08] Camelo, Susana; Santos, Pina dos; Ramalho, Álvaro; Horta, Cristina; Gonçalves, Hélder; Maldonado, Eduardo – Regulamento das características do comportamento térmico dos edifícios: manual de apoio ao RCCTE. Lisboa: INETI, 2006. ISBN 972-
- [09] Revestimentos em edifícios recentes. Coordenador: Grandão Lopes. Lisboa: LNEC. Setembro 2004, n.º 3. Cadernos Edifícios. ISBN 972-49-2022-4
- [10] M.O.A.T n.º 27. 1983 - General Directive for the Assessment of Roof Waterproofing Systems. Paris: UEAtc, 23 p.
- [11] M.O.A.T n.º 50. 1992 - Technical guidelines for the assessment of thermal insulation systems intended for supporting waterproof coverings on flat and sloping roofs. Paris: UEAtc, 25 p.
- [12] DTU 20.12. 1977 – Cahiers du centre scientifique et technique du bâtiment n.º 182: Conception du gros oeuvre en maçonnerie des toitures destinées a recevoir un revêtement d'étanchéité. Paris: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)
- [13] Freitas, Vasco Peixoto de; Pinto, Paulo da Silva - Permeabilidade ao vapor de materiais de construção. Condensações internas – NIT 002 . Porto: LFC-FEUP, 1998.
- [14] Ramos, Nuno; Freitas, Vasco Peixoto de - Hygroscopic Inertia as a Function of Transient Behavior of Covering Materials. Clearwater, US: Performance of exterior envelopes of whole buildings IX international conference, 2004

- [15] GOMES, Ruy José – Coberturas em Terraços. Lisboa: LNEC, Informação técnica “Edifícios”, 1968
- [16] Henriques, Fernando M. A. - Humidade em paredes. 3.^a ed. Lisboa: LNEC, 2001. ISBN 972-49-1592-1
- [17] Shawyer, Michael; Pizzali, Avílio F. M. - The use of ice on small fishing vessels: Cap. 5 - Thermal insulation materials, technical characteristics and selection criteria. Roma: FAO, 2003. ISBN 92-5-105010-4
- [18] Parish, O. Owen; Putnam, Terrill W. - Equations for the determination of humidity from dewpoint and psychrometric data. [Em linha]. Washington, D. C.: Dryden Flight Research Center, 1977. [Consult. Maio 2011]. NASA Technical Note TN D-8401. Disponível em WWW: <URL:<http://www.nasa.gov/centers/dryden/news/DTRS/1977/citation.html>>
- [19] Isolani, Pieraldo et al. - Eficiência energética nos edifícios residenciais. Lisboa: DECO, Maio 2008
- [20] [Em linha]. [Consult. 2011]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.texsa.com>>
- [21] [Em linha]. [Consult. 2011]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.sigss.co.uk>>
- [22] [Em linha]. [Consult. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://freeenergymaineblog.wordpress.com>>
- [23] [Em linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.perlite.net>>
- [24] [Em linha]. [Consult. 2011]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.dow.com>>
- [25] [Em linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.tecnocell.com.br>>
- [26] [Em linha]. [Consult. 2011]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.isocor.pt>>
- [27] [Em linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.knaufinsulation.pt>>
- [28] [Em linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.r4tecno.com.br>>
- [29] [Em linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.fibrosom.com>>
- [30] [Em linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.imperialum.com>>
- [31] [Em linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível em WWW:<URL:

<http://www.tapa-isola.pt>>

[32] [Em linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível em WWW:<URL:
<http://fibran.com.pt>>

[33] [Em linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível em WWW:<URL:
<http://www.litsco.com>>

[34] [Em linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível em WWW:<URL:
<http://www.texasynthetics.com>>

[35] [Em linha]. [Consult. 2011]. Disponível em WWW:<URL:
<http://www.sotecnisol.pt>>

[36] CYTSoft Psychrometric Calculator v1.0 Demo. [Em linha]. [Consult. 2011]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.cytsoft.com>>

[37] [Em linha]. [Consult. 2011]. Disponível em WWW:<URL:
<http://www.eliteprecast.co.uk>>

[38] Harrison, H. W. – Roof and roofing: performance, diagnosis maintenance, repair and the avoidance of defects. Watford: BRE Building Elements, 1996.

