

DURABILIDADE DA CONSTRUÇÃO. ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DE REVESTIMENTOS DE COBERTURAS PLANAS

TADEU FARIA RAPOSO

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JUNHO DE 2009

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais

AGRADECIMENTOS

Ao finalizar este trabalho quero manifestar o meu sincero agradecimento a todos aqueles que ao longo do tempo contribuíram para a sua realização.

Expresso o meu reconhecimento à Professora Maria Helena Corvacho pelo apoio, compreensão e entusiasmo que demonstrou na orientação deste trabalho.

Ao Sr. Vítor, pela disponibilidade demonstrada e por permitir o acompanhamento dos trabalhos de reabilitação.

Agradeço aos meus colegas de casa, Diogo e Nuno, pelo bom ambiente proporcionado e pela companhia e amizade.

À minha prima Andrea, pela preocupação constante e pelas boas refeições que me proporcionou.

À minha namorada Rafaela, pela compreensão e carinho que sempre me transmitiu.

Ao meu irmão Rafael, pela paciência e companhia que demonstrou ao longo dos últimos meses.

Ao meu irmão Rodrigo, pelo seu entusiasmo e pelas suas histórias sem fim que me possibilitaram alguns momentos de descontração.

Finalmente aos meus pais, agradeço a formação incutida, o apoio incondicional e a confiança que me transmitiram em todos os momentos e a oportunidade de concretizar os meus objectivos.

RESUMO

As coberturas planas constituem uma solução construtiva bastante adoptada em Portugal, que tem sofrido, ao longo dos últimos anos, melhorias arquitectónicas e de desempenho dos materiais empregues na sua construção.

No entanto, apesar do surgimento de novos materiais e da consolidação das técnicas de construção de coberturas planas, continuam a surgir inúmeras patologias que desprestigiam indevidamente o uso deste tipo de coberturas. Desta forma, compreende-se a importância de adoptar medidas que contribuam para conhecer e aumentar a durabilidade das coberturas, através da caracterização das patologias mais frequentes, com base nas causas e formas de manifestação.

Neste sentido, desenvolve-se no presente estudo a metodologia de previsão da vida útil dos produtos da construção sugerida pela norma ISO 15686-1 [1], aplicada aos revestimentos de coberturas planas. Nesta metodologia, partindo de uma duração da vida útil de referência, esperada em condições padrão, obtém-se uma estimativa da vida útil para as condições particulares pretendidas, através da multiplicação da vida útil de referência por uma série de factores propostos no Método Factorial, relacionados com diversos aspectos determinantes para a durabilidade.

Para cada tipo de revestimento em estudo, membranas de impermeabilização não-tradicionais pré-fabricadas (betumes polímeros, termoplásticas e elastoméricas), ladrilhos cerâmicos, ladrilhos hidráulicos e lajetas pré-fabricadas de betão, é feita a caracterização, levantamento de patologias mais frequentes e respectivos agentes de degradação. Definem-se os factores modificadores e a sua influência sobre os revestimentos de coberturas planas.

Com o objectivo de determinar a durabilidade dos revestimentos de coberturas planas estudados, apresentam-se propostas de matrizes de durabilidade para os diversos materiais.

PALAVRAS-CHAVE: coberturas planas, revestimentos, patologias, durabilidade, método factorial.

ABSTRACT

The flat roofs are a constructive solution very applied in Portugal, which has suffered, over the last years, architectural improvements and performance of materials used in its construction.

Indeed, although new materials have been designed and with the increasing consolidation of the flat roof building techniques, many pathologies that unduly depreciate the usage of this kind of roofs still emerge. In this context, it is important to adopt new ways that contributes to a better understanding and increasing of the roof durability by detailing their usual pathologies based on their causes and evidences.

With this in mind, the purpose of this thesis is to develop a methodology able to predict the product service life suggested by the regulation ISO 15686-1 [1] applied on flat roofs linings. In this methodology, starting from a reference service life, expected in standard conditions, one can obtain an estimative of the real service life for the target conditions, by multiplying the reference service life for several variables proposed by the Factor Method. Those variables are related with several aspects important for the material durability.

For each studied lining material, waterproofing membranes (bituminous polymers, thermoplastics and elastomerics), ceramic and hydraulic tiles and concrete paving flags, their characterization is performed as well as the most common pathologies and respective degradation agents are listed. The modifying factors and their influence on the flat roofs linings are illustrated.

In order to estimate the lining durability of the studied flat roofs we also propose durability matrixes for the different materials.

KEYWORDS: flat roofs, linings, pathologies, durability, factor method.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2. ÂMBITO E OBJECTIVOS DO TRABALHO	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	2
2. DURABILIDADE	5
2.1. CONCEITO DE DURABILIDADE	5
2.2. QUANTIFICAÇÃO DA DURABILIDADE	7
2.3. MÉTODOS PARA ESTIMAR A DURABILIDADE	8
2.4. MECANISMOS E AGENTES DE DEGRADAÇÃO	9
2.5. ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO	10
2.6. FIM DA VIDA ÚTIL	11
2.7. O MÉTODO FACTORIAL	13
2.7.1. VIDA ÚTIL ESTIMADA	13
2.7.2. FACTORES MODIFICADORES	14
3. COBERTURAS PLANAS	15
3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	15
3.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS DAS COBERTURAS PLANAS	15
3.3. CLASSIFICAÇÃO DAS COBERTURAS PLANAS	17
3.3.1. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À ACESSIBILIDADE	17
3.3.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CAMADA DE PROTECÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO	17
3.3.3. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO TIPO DE REVESTIMENTO DE IMPERMEABILIZAÇÃO	18
3.3.4. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À LOCALIZAÇÃO DA CAMADA DE ISOLAMENTO TÉRMICO	18
3.3.5. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À PENDENTE	19
3.3.6. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À ESTRUTURA RESISTENTE	19
3.4. CONSTITUIÇÃO DAS CAMADAS DE UMA COBERTURA PLANA	19

3.4.1. ESTRUTURA RESISTENTE.....	20
3.4.2. CAMADA DE REGULARIZAÇÃO.....	20
3.4.3. CAMADA DE FORMA	20
3.4.4. CAMADA DE DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA.....	20
3.4.5. BARREIRA PÁRA-VAPOR	21
3.4.6. CAMADA DE ISOLAMENTO TÉRMICO	21
3.4.7. REVESTIMENTO DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	22
3.4.8. CAMADA DE DESSOLIDARIZAÇÃO.....	25
3.4.9. PROTECÇÃO DO REVESTIMENTO DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	25
3.4.10. BARREIRAS DE PROTECÇÃO TÉRMICA E DE SEPARAÇÃO QUÍMICA.....	26

4. REVESTIMENTOS DE COBERTURAS PLANAS.....

4.1. MEMBRANAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	27
4.1.1. MEMBRANAS DE BETUMES POLÍMEROS.....	27
4.1.1.1. Membranas de betume polímero APP.....	28
4.1.1.2. Membranas de betume polímero SBS.....	29
4.1.1.3. Juntas de sobreposição das membranas de betumes polímeros APP e SBS.....	30
4.1.1.4. Campo de aplicação das membranas de betumes polímeros	31
4.1.2. MEMBRANAS DE PVC PLASTIFICADO.....	32
4.1.2.1. Juntas de sobreposição das membranas de PVC plastificado	33
4.1.2.2. Campo de aplicação das membranas de PVC plastificado.....	34
4.1.3. MEMBRANAS DE POLIOLEFINAS (TPO OU FPO).....	34
4.1.3.1. Juntas de sobreposição das membranas de poliolefinas.....	35
4.1.3.2. Campo de aplicação das membranas de poliolefinas	35
4.1.4. MEMBRANAS DE EPDM	35
4.1.4.1. Juntas de sobreposição das membranas de EPDM	36
4.1.4.2. Campo de aplicação das membranas de EPDM.....	36
4.1.5. MEMBRANAS DE BORRACHA BUTÍLICA	37
4.1.5.1. Juntas de sobreposição das membranas de borracha butílica	38
4.1.5.2. Campo de aplicação das membranas de borracha butílica	38
4.1.6. MEMBRANAS DE POLI-ISOBUTILENO (PIB).....	38
4.1.6.1. Juntas de sobreposição das membranas de poli-isobutileno.....	38
4.1.6.2. Campo de aplicação das membranas de poli-isobutileno	39

4.1.7. MEMBRANAS DE POLIETILENO CLORADO (CPE)	39
4.1.7.1. Juntas de sobreposição das membranas de polietileno clorado	39
4.1.7.2. Campo de aplicação das membranas de polietileno clorado.....	40
4.2. O SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO	40
4.2.1. LADRILHOS CERÂMICOS	40
4.2.2. ELEMENTOS DE FIXAÇÃO	42
4.2.3. JUNTAS.....	43
4.2.4. SUPORTE.....	44
4.2.5. APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO CERÂMICO.....	44
4.3. LADRILHOS HIDRÁULICOS	45
4.4. LAJETAS PRÉ-FABRICADAS DE BETÃO	46
4.5. ENQUADRAMENTO NORMATIVO	48
4.5.1. MEMBRANAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	48
4.5.2. LADRILHOS CERÂMICOS	49
4.5.3. LADRILHOS HIDRÁULICOS	49
4.5.4. LAJETAS PRÉ-FABRICADAS.....	49
4.6. O PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO	50
4.6.1. MARCAÇÃO CE	50
4.6.2. DIRECTIVA DOS PRODUTOS DA CONSTRUÇÃO	50
 5. PATOLOGIAS	 53
5.1. PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	53
5.1.1. PATOLOGIAS EM SUPERFÍCIE CORRENTE.....	53
5.1.1.1. Fissuração do revestimento de impermeabilização	53
5.1.1.2. Perfurações do revestimento de impermeabilização	54
5.1.1.3. Arrancamento do revestimento de impermeabilização	55
5.1.1.4. Presença prolongada de água	56
5.1.1.5. Formação de pregas.....	56
5.1.1.6. Empolamentos.....	56
5.1.1.7. Descolamento das juntas de sobreposição.....	57
5.1.1.8. Desenvolvimento de vegetação	57
5.1.2. PATOLOGIAS EM PONTOS SINGULARES.....	57
5.1.2.1. Descolamento dos remates.....	57

5.1.2.2. Fluência ou deslizamento dos remates	59
5.1.2.3. Insuficiente altura dos remates.....	59
5.1.2.4. Fissuração dos remates.....	60
5.1.2.5. Fissuração dos remates nas juntas de dilatação	60
5.1.2.6. Inadequado capeamento do coroamento	61
5.2. PATOLOGIAS EM LADRILHOS CERÂMICOS	61
5.3. PATOLOGIAS EM LADRILHOS HIDRÁULICOS	65
5.4. PATOLOGIAS EM LAJETAS PRÉ-FABRICADAS	65

6. MÉTODO FACTORIAL

6.1. FACTOR A – QUALIDADE DO MATERIAL OU COMPONENTE	67
6.1.1. DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE CE E CERTIFICADO DE QUALIDADE	67
6.1.2. CARACTERÍSTICAS DO ISOLAMENTO TÉRMICO	68
6.1.3. PRESENÇA DE ARMADURA NAS MEMBRANAS TERMOPLÁSTICAS E ELASTOMÉRICAS	68
6.1.4. TIPOS DE ARMADURA DAS MEMBRANAS DE BETUMES POLÍMEROS	69
6.1.5. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO DE COLAGEM	69
6.1.6. CARACTERÍSTICAS DO LADRILHOS CERÂMICOS	69
6.1.7. CLASSES DE CARGA DE RUPTURA DOS LADRILHOS HIDRÁULICOS	70
6.1.8. CLASSES DE RESISTÊNCIA ÀS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DOS LADRILHOS HIDRÁULICOS	70
6.1.9. CLASSES DE CARGA DE RUPTURA DAS LAJETAS PRÉ-FABRICADAS	70
6.1.10. CLASSES DE RESISTÊNCIA ÀS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DAS LAJETAS PRÉ-FABRICADAS	70
6.1.11. CLASSES DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO DAS LAJETAS PRÉ-FABRICADAS	71
6.2. FACTOR B – NÍVEL DE QUALIDADE DO PROJECTO	71
6.2.1. QUALIDADE E NÍVEL DE PORMENORIZAÇÃO CONSTRUTIVA EM PONTOS SINGULARES	71
6.2.2. DEFINIÇÃO DA POSIÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO	71
6.2.3. DEFINIÇÃO DA CAMADA DE DESSOLIDARIZAÇÃO E BARREIRA DE SEPARAÇÃO QUÍMICA	72
6.2.4. DEFINIÇÃO DE CAMINHOS DE CIRCULAÇÃO	72
6.2.5. DEFINIÇÃO DA LARGURA DAS JUNTAS DE SOBREPOSIÇÃO DAS MEMBRANAS.....	73
6.2.6. DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE FIXAÇÃO MECÂNICA AO SUPORTE (PONTUAL OU LINEAR)	73
6.2.7. DEFINIÇÃO DAS JUNTAS DE DILATAÇÃO	73
6.2.8. DEFINIÇÃO DE JUNTAS DE FRACCIONAMENTO	73
6.2.9. DEFINIÇÃO DA LARGURA DAS JUNTAS ENTRE LADRILHOS.....	74
6.2.10. REFORÇO DA IMPERMEABILIZAÇÃO NA ZONA DO APOIO DA LAJETA.....	74

6.3. FACTOR C – NÍVEL DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	74
6.3.1. QUALIFICAÇÃO DA MÃO-DE-OBRA	74
6.3.2. FISCALIZAÇÃO DA OBRA	75
6.4. FACTOR D – CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE INTERIOR	75
6.5. FACTOR E – CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE EXTERIOR	75
6.5.1. ACÇÃO DA TEMPERATURA	76
6.5.2. ACÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR	77
6.5.3. ACÇÃO DA PRECIPITAÇÃO	78
6.5.4. ACÇÃO DO VENTO	79
6.5.5. ACÇÃO DA POLUIÇÃO E INFLUÊNCIA MARÍTIMA	82
6.6. FACTOR F – CARACTERÍSTICAS DO USO	83
6.7. FACTOR G – NÍVEL DE MANUTENÇÃO	83
6.8. APLICAÇÃO DO MÉTODO FACTORIAL	84
7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	91
7.1. CONCLUSÕES	91
7.2. PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	92
REFERÊNCIAS	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Informação necessária ao planeamento da vida útil dos edifícios [1].....	6
Fig. 2.2 – Metodologia de previsão da vida útil [5]	9
Fig. 2.3 – Relação entre a perda de desempenho das propriedades de um elemento e os níveis mínimos aceitáveis (adaptado de [6]).....	12
Fig. 3.1 – Coberturas planas [9]	15
Fig. 3.2 – Cobertura plana (tradicional) [11]	20
Fig. 4.1 – Membranas de betumes polímeros	27
Fig. 4.2 – Execução de juntas de sobreposição.....	30
Fig. 4.3 – Provete para ensaio de pelagem (a) e de tracção-corte (b) [14]	31
Fig. 4.4 – Soldadura a ar quente de membranas de PVC [15]	33
Fig. 4.5 – Fixação mecânica de membranas de PVC [7]	33
Fig. 4.6 – Tipos de sistemas de fixação mecânica [7].....	37
Fig. 4.7 – Revestimento cerâmico em cobertura plana	40
Fig. 4.8 – Assentamento de ladrilhos cerâmicos.....	44
Fig. 4.9 – Exemplo de ladrilhos hidráulicos [21]	45
Fig. 4.10 – Lajetas pré-fabricadas em cobertura plana [22].....	46
Fig. 4.11 – Apoios pontuais para lajetas pré-fabricadas [24]	47
Fig. 4.12 – Exemplo de declaração de conformidade CE [17]	51
Fig. 5.1 – Fissuração do revestimento de impermeabilização [31]	53
Fig. 5.2 – Granulado mineral removido [31].	54
Fig. 5.3 – Caminhos de circulação	55
Fig. 5.4 – Perfuração do revestimento de impermeabilização [31]	55
Fig. 5.5 – Acção do vento sobre as juntas de sobreposição das membranas [32].....	55
Fig. 5.6– Sujidade na zona da caleira	56
Fig. 5.7– Remate com embocadura de um tubo de queda [32]	56
Fig. 5.8 – Pregas na membrana de impermeabilização	57
Fig. 5.9 – Descolamento da junta de sobreposição das membranas [31].	57
Fig. 5.10 – Descolamento do remate de impermeabilização [31]	58
Fig. 5.11 – Deformação do isolamento térmico [32].....	58
Fig. 5.12 – Remates da impermeabilização com uma parede emergente: a) rufos de protecção b) introdução do remate na parede [32]	58
Fig. 5.13 – Remate da impermeabilização com uma tubagem emergente [32].....	59

Fig. 5.14 – Insuficiente cota da soleira	59
Fig. 5.15 – Disposição da protecção pesada rígida junto ao elemento emergente [32]	60
Fig. 5.16 – Fissuração do remate com o elemento emergente [33]	60
Fig. 5.17 – Remates das juntas de dilatação: a) sobreelevado; b) zona corrente [32]	61
Fig. 5.18 – Remate em junta de dilatação	61
Fig. 5.19 – Descolamento com empolamento de ladrilhos cerâmicos	62
Fig. 5.20 – Tensões devido à variação uniforme da temperatura (adaptado de [33])	62
Fig. 5.21 – Ladrilhos cerâmicos fissurados e quebrados	63
Fig. 5.22 – Eflorescências em ladrilhos cerâmicos	63
Fig. 5.23 – Lajeta partida [31]	65
Fig. 6.1 – Variação térmica na impermeabilização em coberturas tradicionais e em coberturas invertidas [37]	72
Fig. 6.2 – Zonas climáticas de Inverno e Verão [39]	76
Fig. 6.3 – Zonas de precipitação no território nacional [40]	78
Fig. 6.4 – Resposta estática e resposta dinâmica [41]	79
Fig. 6.5 – Acção do vento em coberturas em terraço com e sem platibanda [12]	80

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Durabilidade dos produtos em função da durabilidade das construções [4]	7
Quadro 2.2 – Duração mínima da vida de projecto sugerida pela norma ISO 15686-1 [1]	8
Quadro 2.3 – Agentes de degradação [1]	10
Quadro 2.4 – Valores de desvio em relação à condição de referência [1]	14
Quadro 3.1 – Exigências funcionais e de economia de coberturas planas [7]	16
Quadro 3.2 – Classificação quanto à acessibilidade [7]	17
Quadro 3.3 – Classificação quanto ao tipo de protecção e materiais [7]	18
Quadro 3.4 – Classificação quanto à pendente [10]	19
Quadro 3.5 – Classificação quanto à estrutura resistente [7]	19
Quadro 3.6 – Materiais isolantes térmicos [7]	22
Quadro 3.7 – Classificação de materiais de impermeabilização de coberturas [7]	23
Quadro 3.8 – Classificação de sistemas de impermeabilização quanto à sua constituição [7]	23
Quadro 4.1 – Classificação dos ladrilhos cerâmicos segundo a norma NP EN 14411 [16 e 17]	42
Quadro 4.2 – Classes de colas segundo a NP EN 12004 [19]	43
Quadro 4.3 – Tipos de juntas de construção [17]	43
Quadro 4.4 – Classes de carga de ruptura [20]	46
Quadro 4.5 – Classes de resistência às condições climáticas [20]	46
Quadro 4.6 – Classes de carga de ruptura [25]	47
Quadro 4.7 – Classes de resistência às condições climáticas [25]	47
Quadro 4.8 – Classes de resistência à abrasão [25]	47
Quadro 4.9 – Características exigidas às membranas [27 e 28]	48
Quadro 4.10 – Características exigidas aos ladrilhos cerâmicos [16]	49
Quadro 4.11 – Sistemas de comprovação de conformidade [17]	51
Quadro 5.1 – Patologias mais correntes em ladrilhos cerâmicos [35]	64
Quadro 6.1 – Índices aplicáveis ao Factor A_1	67
Quadro 6.2 – Classificação ISOLE de coberturas planas [36]	68
Quadro 6.3 – Índices aplicáveis ao Factor A_2	68
Quadro 6.4 – Índices aplicáveis ao Factor A_3	69
Quadro 6.5 – Índices aplicáveis ao Factor A_4	69
Quadro 6.6 – Índices aplicáveis ao Factor A_5	69
Quadro 6.7 – Índices aplicáveis ao Factor A_6	69

Quadro 6.8 – Índices aplicáveis ao Factor A_7	70
Quadro 6.9 – Índices aplicáveis ao Factor A_8	70
Quadro 6.10 – Índices aplicáveis ao Factor A_9	70
Quadro 6.11 – Índices aplicáveis ao Factor A_{10}	70
Quadro 6.12 – Índices aplicáveis ao Factor A_{11}	71
Quadro 6.13 – Índices aplicáveis ao Factor B_1	71
Quadro 6.14 – Índices aplicáveis ao Factor B_2	72
Quadro 6.15 – Índices aplicáveis ao Factor B_3	72
Quadro 6.16 – Índices aplicáveis ao Factor B_4	72
Quadro 6.17 – Índices aplicáveis ao Factor B_5	73
Quadro 6.18 – Índices aplicáveis ao Factor B_6	73
Quadro 6.19 – Índices aplicáveis ao Factor B_7	73
Quadro 6.20 – Índices aplicáveis ao Factor B_8	74
Quadro 6.21 – Índices aplicáveis ao Factor B_9	74
Quadro 6.22 – Índices aplicáveis ao Factor B_{10}	74
Quadro 6.23 – Índices aplicáveis ao Factor C_1	75
Quadro 6.24 – Índices aplicáveis ao Factor C_2	75
Quadro 6.25 – Índices aplicáveis ao Factor E_1	77
Quadro 6.26 – Valores de α_s em função da cor [17]	77
Quadro 6.27 – Índices aplicáveis ao Factor E_2	77
Quadro 6.28 – Índices aplicáveis ao Factor E_3	78
Quadro 6.29 – Zonas de precipitação.....	79
Quadro 6.30 – Índices aplicáveis ao Factor E_4	79
Quadro 6.31 – Valores característicos da pressão dinâmica do vento – w (Pa), segundo o RSA [42]	81
Quadro 6.32 – Índices aplicáveis ao Factor E_5	81
Quadro 6.33 – Índices aplicáveis ao Factor E_6	81
Quadro 6.34 – Índices aplicáveis ao Factor E_7	82
Quadro 6.35 – Definição das atmosferas exteriores (adaptado de [44]).....	82
Quadro 6.36 – Índices aplicáveis ao Factor E_8	82
Quadro 6.37 – Índices aplicáveis ao Factor F_1	83
Quadro 6.38 – Plano de Manutenção para coberturas planas	84
Quadro 6.39 – Índices aplicáveis ao Factor G_1	84
Quadro 6.40 – Índices aplicáveis para avaliar a VUE da membrana na cidade do Porto.....	86

Quadro 6.41 – Índices aplicáveis para avaliar a VUE da membrana na cidade de Bragança	87
Quadro 6.42 – Índices aplicáveis para avaliar a VUE da membrana na cidade de Lisboa	88
Quadro 6.43 – Alteração dos índices aplicáveis para avaliar a VUE da membrana na cidade de Lisboa ..	89

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

As coberturas planas têm tido, ao longo dos últimos anos, uma grande aplicação em Portugal, acompanhando a evolução arquitectónica e o aparecimento de novos materiais e melhoria de desempenho dos existentes.

Nos edifícios, o revestimento da cobertura é um elemento muito importante porque protege o espaço interior da intempérie e da radiação solar e garante o conforto e segurança dos ocupantes.

As coberturas, tal como todos os elementos da construção, vão perdendo, ao longo do tempo, as propriedades essenciais para a satisfação das exigências globais das construções. A forte exposição aos agentes atmosféricos a que a cobertura se encontra sujeita e a má execução, utilização e projecto são os principais responsáveis pela perda dessas propriedades.

Apesar do surgimento de novos materiais e da consolidação das técnicas de construção de coberturas planas, continuam a surgir inúmeras patologias que indevidamente desprestigiam o uso deste tipo de coberturas. Desta forma, compreende-se a importância de adoptar medidas que contribuam para conhecer e aumentar a durabilidade das coberturas, através da caracterização das patologias mais frequentes, com base nas causas e formas de manifestação.

Uma significativa parte das anomalias ocorre nos revestimentos das coberturas planas, que depois se repercute ao longo das várias camadas do sistema construtivo, originando infiltrações de água e desconforto térmico no interior do edifício. A escolha dos materiais de revestimento e das suas características nem sempre tem em conta o investimento na durabilidade, levando ao aumento dos custos de reabilitação.

A maioria dos edifícios novos é construída para ser vendida após a construção, pelo que o dono de obra inicial procura rentabilizar o seu investimento, aplicando muitas vezes as soluções construtivas mais baratas e não aquelas tecnicamente mais correctas ou duráveis.

1.2. ÂMBITO E OBJECTIVOS DO TRABALHO

A durabilidade das construções como um todo representa um dos sectores estratégicos mais determinantes para o futuro. Através dela, pode-se [2]:

- avaliar e prever a vida útil dos materiais, componentes, sistemas e edifícios;
- definir estratégias de manutenção dos elementos da construção;

- definir estratégias de projecto e obra, com vista a uma maior sustentabilidade e qualidade das construções.

O desconhecimento do comportamento dos materiais face às condições a que vão estar sujeitos impõe o desenvolvimento de métodos capazes de avaliar o desempenho de materiais e componentes da construção ao longo da sua vida útil.

Uma vez que é na fase de projecto que se definem quais os produtos a aplicar numa construção, a selecção de uma adequada solução construtiva e o conhecimento do desempenho dos produtos ao longo do tempo assumem grande importância. O recurso a metodologias de previsão da vida útil dos produtos da construção com o objectivo de avaliar, em anos de serviço, o seu desempenho nos edifícios tem permitido seleccionar alternativas ao nível da concepção de edifícios.

Neste sentido, desenvolveu-se no presente estudo, a metodologia de previsão da vida útil dos produtos da construção sugerida pela norma ISO 15686-1 [1], aplicada aos revestimentos de coberturas planas.

A metodologia aplicada baseia-se na especificação dos factores modificadores propostos no Método Factorial, no contexto português, através de classificações que se considerem ajustadas para uma correcta previsão do tempo de vida útil dos revestimentos de coberturas planas.

Os materiais estudados neste trabalho são as membranas de impermeabilização não-tradicionais pré-fabricadas, por serem as mais usadas na impermeabilização de coberturas planas em Portugal, os ladrilhos cerâmicos e hidráulicos e as placas pré-fabricadas de betão. A betonilha, embora constitua um material bastante utilizado, não será estudada, devido ao reduzido tempo disponibilizado para a realização deste trabalho. As coberturas acessíveis a veículos e as coberturas ajardinadas não foram objecto deste estudo.

É feita a caracterização de cada material, levantamento das patologias mais frequentes e respectivos agentes de degradação. Definem-se os factores modificadores associados ao Método Factorial e a sua influência sobre os revestimentos de coberturas planas.

O objectivo deste trabalho é constituir uma ferramenta útil para a previsão da durabilidade de revestimentos de coberturas planas.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em sete capítulos.

No presente capítulo faz-se uma breve introdução ao tema, referindo-se a importância da temática da durabilidade dos produtos da construção, nomeadamente dos revestimentos de coberturas planas. Indicam-se de seguida os principais objectivos do trabalho e apresenta-se a sua estrutura.

No segundo capítulo desenvolve-se o conceito de durabilidade. Descrevem-se os métodos para estimar a durabilidade e os agentes de degradação e define-se o conceito de “fim da vida útil”. Apresenta-se a metodologia proposta pela norma ISO 15686-1 [1] para o planeamento da vida útil dos produtos da construção, o Método Factorial, e os respectivos factores modificadores.

No capítulo 3 apresentam-se as exigências funcionais das coberturas planas. Referem-se ainda os vários tipos de classificação das coberturas planas e as diferentes camadas que as constituem, com indicação da função de cada uma das camadas e dos materiais constituintes.

No quarto capítulo é feita a caracterização dos materiais em estudo, membranas de betumes polímeros, termoplásticas e elastoméricas, ladrilhos cerâmicos e hidráulicos e lajetas pré-fabricadas de betão.

Descrevem-se os tipos de materiais, os seus processos de fabrico e os modos de aplicação. Faz-se referência ao enquadramento normativo e ao processo de certificação.

O capítulo 5 é dedicado à identificação das patologias mais frequentes e respectivos agentes de degradação. Referem-se as causas das patologias e apresentam-se soluções que podem ajudar a prevenir o aparecimento das mesmas.

No capítulo 6 identificam-se os factores modificadores para a estimativa da vida útil dos revestimentos de coberturas planas em estudo e demonstra-se a aplicação do Método Factorial.

No último capítulo apresentam-se as conclusões gerais deste trabalho e as perspectivas de desenvolvimento futuro.

Apresentam-se em anexo as Matrizes de Durabilidade dos revestimentos em estudo.

2

DURABILIDADE

2.1. CONCEITO DE DURABILIDADE

No passado, a garantia da durabilidade de uma construção era assegurada pela adopção de soluções construtivas tradicionais, com provas dadas ao longo dos tempos [3].

Nas últimas três ou quatro décadas, com a introdução de novos materiais e tecnologias inovadoras aumentou a preocupação com a temática da durabilidade, devido ao desconhecimento da variação com o tempo do desempenho dessas soluções novas [3].

A norma internacional ISO (International Organization for Standardization) 15686-1 [1] apresenta definições distintas para os conceitos durabilidade (*durability*) e vida útil (*service life*).

A durabilidade aparece descrita como: *a capacidade de um edifício ou de uma parte de um edifício para desempenhar a sua função durante um determinado intervalo de tempo, sob a acção dos agentes presentes em serviço.*

A vida útil de um edifício ou de uma parte de um edifício é definida como: *o período de tempo, após a conclusão da obra, durante o qual é atingido ou excedido o desempenho que lhes é exigido, procedendo-se a uma manutenção de rotina.*

A EOTA (European Organization for Technical Approvals), no documento guia GD (Guidance Document) 002 [4] apresenta a definição do termo *working life*, que podemos traduzir por vida útil: *período de tempo durante o qual o desempenho dos produtos se mantém a um nível compatível com a satisfação dos requisitos essenciais.*

O conceito de vida útil reveste-se de alguma complexidade e subjectividade. O nível de exigência requerido a um edifício, sistema ou material de construção pode variar em função da sua utilização, do seu utilizador e da época em que se encontra.

Pelas definições apresentadas, compreende-se que o estudo da durabilidade da construção exige um conhecimento rigoroso dos materiais, da sua interacção com o ambiente e dos mecanismos de degradação.

A norma ISO 15686-1 [1] apresenta uma metodologia para o planeamento da vida útil de um edifício. Este planeamento insere-se na fase de projecto com o objectivo de garantir, dentro do possível, que a vida útil de um edifício exceda a sua vida de projecto, tendo em conta os custos do ciclo de vida do edifício.

O planeamento da vida útil de um edifício é, então, um procedimento que pretende garantir que a vida útil deste iguale ou exceda a vida útil considerada como base na fase de projecto, vida de projecto, e

procura reduzir os custos que o proprietário terá ao longo da vida útil do edifício, incluindo a sua aquisição, manutenção, reparação e exploração.

A duração da vida útil depende da deterioração e das condições de funcionalidade do edifício. Caso não se verifiquem problemas devido à degradação dos materiais a vida útil termina quando os custos funcionais e de manutenção forem superiores aos benefícios da exploração do edifício.

Espera-se que a vida útil definida na fase de projecto seja atingida nos elementos estruturais, com uma manutenção corrente. Os componentes do edifício terão uma vida útil inferior, o que levará a obras de reparação durante a fase de serviço.

A Figura 2.1 sintetiza a organização e o tipo de informação necessária ao planeamento da vida útil.

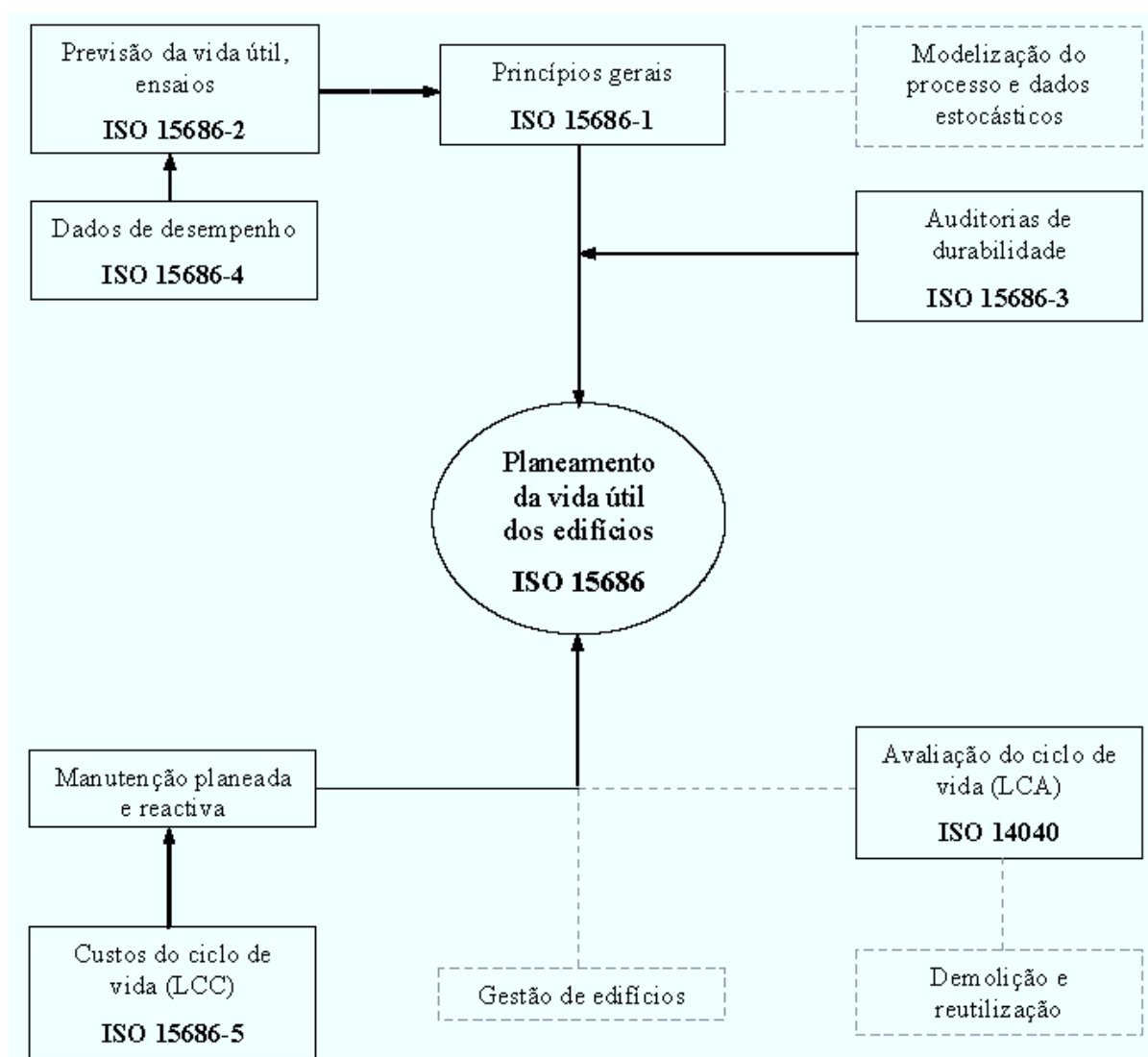


Figura 2.1 – Informação necessária ao planeamento da vida útil dos edifícios [1].

A terminologia associada à durabilidade da construção tem sofrido uma evolução significativa. De seguida apresentam-se algumas definições, com base na norma ISO 15686-1 [1], que se consideram importantes no contexto deste trabalho:

Vida útil de referência é a vida útil padrão que serve de base para a estimativa da vida útil de um edifício ou de uma parte de um edifício.

Vida útil estimada é o resultado da multiplicação da vida útil de referência por factores relativos a um contexto específico, como por exemplo, as características do projecto, as condições ambientais, o uso, a manutenção prevista, entre outros.

Vida útil prevista é o resultado da previsão da vida útil através do tratamento de dados do desempenho ao longo do tempo provenientes, por exemplo, de modelos do processo de degradação ou ensaios de envelhecimento.

Agente de degradação é tudo o que actue sobre um edifício ou parte dele afectando negativamente o seu desempenho (por exemplo, o utilizador, a água, as cargas mecânicas e o calor).

Mecanismo de degradação é uma forma de alteração química, física ou mecânica que produz efeitos negativos em propriedades críticas dos produtos da construção.

Estas definições realçam a importância de estudar as propriedades críticas dos materiais e componentes e os níveis de desempenho exigidos. São consideradas propriedades críticas, aquelas que mais condicionam o desempenho dos materiais e componentes.

2.2. QUANTIFICAÇÃO DA DURABILIDADE

A quantificação da durabilidade dos produtos da construção e das construções é referida em várias normas internacionais.

A EOTA, no documento guia GD 002 [4], propõe uma classificação para a durabilidade dos produtos em função da durabilidade das construções e da facilidade de reparação e/ou substituição dos produtos, que se apresenta no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Durabilidade dos produtos em função da durabilidade das construções [4].

Durabilidade das construções		Durabilidade dos produtos de construção		
Categoria	Anos	Categoria		
		Reparáveis ou de fácil substituição	Reparáveis ou substituíveis com mais algum esforço	Para toda a vida da construção
Pequena	10	10	10	10
Média	25	10	25	25
Normal	50	10	25	50
Longa	100	10	25	100

A norma internacional ISO 15686-1 [1] também recomenda valores mínimos para a durabilidade dos edifícios e seus componentes, tendo em conta a necessidade de manutenção. A durabilidade de um edifício é limitada pela degradação dos elementos da construção que não podem ser substituídos ou cuja substituição seja demasiado dispendiosa (Quadro 2.2).

No caso particular de coberturas em terraço, a vida útil será correspondente à menor longevidade das suas camadas (suporte, camada de forma, impermeabilização, isolamento térmico e revestimento).

A durabilidade da cobertura depende dos níveis de desempenho pretendidos e da realização de acções periódicas de manutenção para fazer face aos agentes de degradação.

É na fase de projecto que se definem quais as partes do edifício que deverão ser reparáveis, susceptíveis de manutenção ou substituíveis ao longo da vida de projecto do edifício.

Quadro 2.2 – Duração mínima da vida de projecto sugerida pela norma ISO 15686-1 [1].

Durabilidade do edifício	Elementos inacessíveis ou estruturais	Elementos cuja substituição é difícil ou dispendiosa	Elementos substituíveis do edifício	Instalações e equipamentos
Ilimitada	Ilimitada	100	40	25
150	150	100	40	25
100	100	100	40	25
60	60	60	40	25
25	25	25	25	25
15	15	15	15	15
10	10	10	10	10

2.3. MÉTODOS PARA ESTIMAR A DURABILIDADE

A durabilidade ou previsão do tempo de vida útil de um material ou componente pode basear-se, quer em métodos determinísticos, quer em métodos probabilísticos.

Nos métodos determinísticos, a vida útil de um elemento é função de uma durabilidade de referência, normalmente indicada pelo fabricante, posteriormente modificada por factores, de acordo com as condições de serviço espectáveis para esse elemento, obtendo-se um valor indicativo da sua durabilidade.

Estes métodos baseiam-se no estudo dos factores de degradação, dos mecanismos de actuação e da sua quantificação, traduzida em funções de degradação obtidas através de dados recolhidos em testes de degradação em laboratório.

Nos métodos probabilísticos, define-se a probabilidade de ocorrência de uma mudança de estado de um elemento para superar a incerteza relacionada com a sua forma de degradação e a imprevisibilidade das respectivas condições de serviço.

Tendo em conta a complexidade e subjectividade da previsão da vida útil, os métodos de avaliação concentram-se, geralmente, na análise particular de uma única exigência imposta a um determinado produto da construção.

Entre os métodos determinísticos, o Método Factorial é o mais aceite pela comunidade científica pela sua aplicação prática e elevada operacionalidade.

Na Figura 2.2 apresenta-se o esquema do método de previsão da vida útil, retirado da norma ISO 15686-2 [5], para obtenção do valor de referência a considerar no Método Factorial.

Antes de se decidir qual o método de avaliação a utilizar na estimativa da vida útil de um produto convém definir as funções e exigências que lhe são colocadas.

Essas exigências ou requisitos decorrem das solicitações a que os materiais ou componentes estão sujeitos durante o seu período de vida e em condições normais de utilização.

Para compreendermos os requisitos exigidos a um material ou componente, devemos conhecer as funções que se pretende que desempenhe.

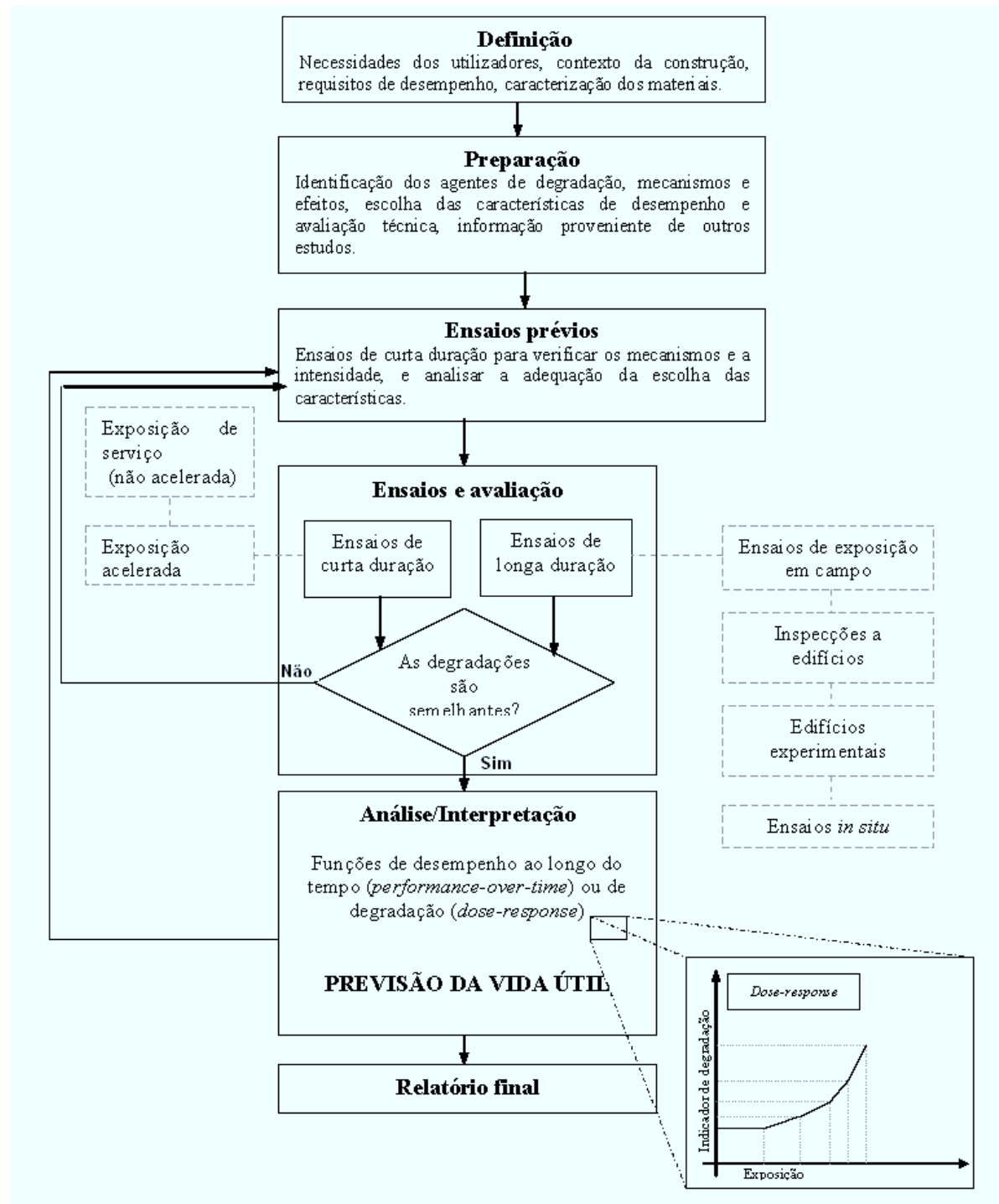


Figura 2.2 – Metodologia de previsão da vida útil [5].

2.4. MECANISMOS E AGENTES DE DEGRADAÇÃO

A Norma ISO 15686-1 [1] define degradação como *a alteração ao longo do tempo da composição, microestrutura e propriedades de um produto, material ou componente que resulta numa redução do seu desempenho.*

Os agentes de degradação e as solicitações normais decorrentes do uso provocam alterações nos materiais, que conduzem à perda de funcionalidade.

Sendo a durabilidade dos produtos da construção influenciada por um conjunto de acções, torna-se necessário conhecer os agentes de degradação em causa que alteram as características fundamentais do produto.

A média da intensidade/concentração/nível dos agentes de degradação, a sua frequência e os ciclos entre diferentes estados são fundamentais para a quantificação dos seus efeitos prováveis.

A análise dos agentes de degradação deverá ter em conta as interacções entre vários factores e o facto dessa actuação conjunta acelerar o processo de envelhecimento. Por vezes, condições extremas mais estáveis são menos prejudiciais do que condições mais moderadas mas variáveis.

No Quadro 2.3, retirado da norma ISO 15686-1 [1], identificam-se os tipos de agentes de degradação que afectam a duração da vida útil dos produtos da construção.

Quadro 2.3 – Agentes de degradação [1].

Natureza	Classe	Exemplos
Mecânica	Gravitacionais	Acções permanentes, sobrecarga, acção da neve
	Forças aplicadas e deformações impostas ou restringidas	Expansão e contracção, formação de gelo
	Energia cinética	Impactos, choque hidráulico
	Vibrações	Vibrações devidas a tráfego ou equipamentos
Electromagnética	Radiação	Solar, UV, radioactividade
	Electricidade	Reacções electrolíticas, iluminação eléctrica
	Magnetismo	Campos magnéticos
Térmica	Níveis extremos ou variações acentuadas de temperatura	Calor, geada, choque térmico, fogo
Química	Água e solventes	Humidade do ar, humidade do solo, precipitação, álcool
	Agentes oxidantes	Oxigénio, desinfectantes
	Agentes redutores	Sulfuretos, amoníaco
	Ácidos	Ácido carbónico, excrementos de pássaros
	Bases	Cimento, hidróxidos, cal
	Sais	Nitratos, fosfatos, cloretos, gesso
	Substâncias neutras	Gordura, óleo, calcário
Biológica	Plantas e micróbios	Bactérias, bolores, fungos, raízes
	Animais	Roedores, térmitas, pássaros

2.5. ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO

Os ensaios para prever a vida útil de um determinado produto de construção podem ser de curta duração, acelerados ou não, e de longa duração ou naturais.

Os resultados dos ensaios de longa duração podem ser obtidos através de inspecções realizadas a edifícios existentes e de resultados obtidos em experiências já realizadas ou em curso. A principal desvantagem deste tipo de ensaios é a sua morosidade.

A combinação dos dois tipos de ensaios irá permitir a comparação de ambos os resultados, a validação ou não dos resultados obtidos nos ensaios de curta duração e estabelecer uma correlação entre os tempos obtidos nos ensaios de envelhecimento artificial e os tempos reais do produto da construção em estudo.

Contudo, a correlação com o ritmo de degradação real nem sempre é fácil. Para que se estabeleça um modelo de previsão do tempo de vida útil de um produto, é necessário que a degradação provocada pelos agentes e mecanismos, em condições extremas, nos ensaios de envelhecimento acelerado seja semelhante à degradação do produto nas suas condições normais de utilização ao longo do tempo.

Segundo a norma ISO 15686-2 [5] os meios de obter dados sobre o envelhecimento a longo prazo dos produtos da construção são os seguintes:

- Ensaios de campo: é essencial registar as condições ambientais e os seus efeitos, já que os resultados são específicos de um determinado local e de um determinado período de tempo;
- Ensaios de longa duração, *in situ* (condições de serviço): estes ensaios têm particular interesse quando a degradação esperada for causada pelo uso;
- Ensaios em edifícios experimentais: estes edifícios estão especificamente habilitados para ensaiar materiais e componentes, expostos a condições monitorizadas e controladas, fornecendo informação importante sobre a degradação dos produtos ensaiados e permitem, geralmente, tirar conclusões sobre a fiabilidade dos dados;
- Inspeção de edifícios: devem ser inspeccionados o maior número de edifícios possível, para permitir um tratamento estatístico dos resultados. No entanto, o alcance dos dados obtidos pode ser limitado pela ausência de informação sobre a história do edifício e pela dificuldade de caracterizar com precisão as condições ambientais do edifício.

Os ensaios de curta duração acelerados consistem na exposição acelerada de materiais em laboratório, onde os agentes de degradação são controlados de maneira a simular o mais possível o ambiente natural.

O método de envelhecimento acelerado mais apropriado depende da natureza e uso pretendido do produto.

2.6. FIM DA VIDA ÚTIL

O fim da vida útil de determinado produto da construção é determinado pela perda de aptidão de desempenhar satisfatoriamente as suas funções, devido a alterações dos níveis de desempenho exigidos, relativamente ao uso a que se destina.

Geralmente, as operações de manutenção dos materiais, componentes ou sistemas permitem que a durabilidade deixe de ser um factor determinante na determinação do fim da vida útil, sobrepondo-se factores de carácter subjectivo, como a aparência ou a alteração da funcionalidade.

Segundo Gaspar [2], o final da vida útil de um elemento é determinado pela obsolescência funcional ou de imagem, pelo desempenho económico e pela vida útil física, entendida como durabilidade.

Entende-se por vida útil funcional o período de tempo em que um edifício pode ser utilizado sem sofrer alterações significativas. Está associada à degradação das condições de habitabilidade relacionadas, entre outras, com problemas de canalizações, revestimentos, impermeabilizações. As exigências de conforto e de estética são as mais condicionantes.

A vida útil económica está associada aos custos de exploração do edifício e corresponde ao período de tempo até que uma construção seja substituída por outra construção ou actividade mais rentável, ou enquanto a relação entre o custo e o benefício for a mais vantajosa.

A alteração do tipo de uso de um edifício pode dispensar os gastos energéticos de um sistema de aquecimento existente, levando ao fim da vida útil económica desse elemento.

A vida útil física é entendida como durabilidade, ou seja, é o período de tempo em que um edifício ou uma parte de um edifício desempenha a sua função, sob a acção dos agentes presentes em serviço, causando o menor impacte ambiental possível.

Os níveis de desempenho em termos de durabilidade variam ao longo do tempo, em função das novas exigências de higiene e segurança, por exemplo, no que diz respeito ao comportamento ao fogo.

No entanto, mesmo que se mantenha assegurado o interesse económico ou patrimonial de determinado edifício ou componente, e ainda que estes assegurem os requisitos de funcionalidade dos utentes, a vida útil das construções depende, no limite, da sua integridade física, ou seja, da sua durabilidade. [2].

A realização de ensaios de caracterização do material ou sistema de construção para diferentes graus de exposição permite, geralmente, a determinação de funções de desempenho ao longo do tempo.

A vida útil do material para as condições de exposição consideradas é obtida associando a curva de desempenho com os níveis de desempenho exigidos.

MOSER [6] propõe a determinação, caso a caso, dos factores determinantes para o fim da vida útil, em função de níveis de aceitação expectáveis. A Figura 2.3 expressa a comparação entre a degradação estética, a perda de funcionalidade e a diminuição dos níveis de segurança de uma construção.

A vida útil de uma solução construtiva pode estar sujeita a várias características críticas de desempenho, havendo, no entanto, uma que será determinante para determinadas condições de exposição.

Neste caso, a primeira propriedade a atingir o nível mínimo é a degradação estética, sendo esta a condicionante para a vida útil.

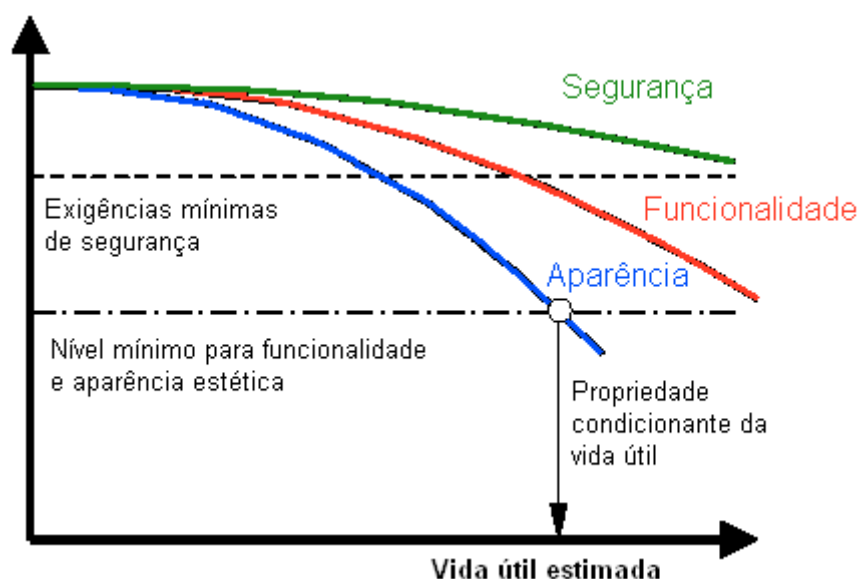


Figura 2.3 – Relação entre a perda de desempenho das propriedades de um elemento e os níveis mínimos aceitáveis (adaptado de [6]).

2.7. O MÉTODO FACTORIAL

A norma internacional ISO 15686-1 [1] tem como objectivo prever e controlar os custos da propriedade que o proprietário teria ao longo da vida útil do seu edifício, procurando reduzir o custo da mesma. Segundo esta metodologia, a redução de custos é obtida através da avaliação da durabilidade de determinado produto aplicado no edifício, mediante pormenorização e especificação adequada, considerando as acções de manutenção e reparação dos produtos.

Esta metodologia permite comparar, na fase de projecto, diferentes soluções construtivas e verificar se o desempenho dos produtos aplicados se mantém aceitável ao longo da vida útil estimada.

O Método Factorial proposto pela norma ISO 15686-1 [1] permite uma estimativa da vida útil de um determinado produto da construção, sob determinadas condições ambientais.

Partindo de uma duração da vida útil de referência, esperada em condições padrão, obtém-se uma estimativa da vida útil para as condições particulares pretendidas, através da multiplicação da vida útil de referência por uma série de factores relacionados com diversos aspectos determinantes para a durabilidade. Os factores a considerar são os seguintes:

- Factor A – Qualidade do material ou componente;
- Factor B – Nível de qualidade do projecto;
- Factor C – Nível de qualidade da execução;
- Factor D – Características do ambiente interior;
- Factor E – Características do ambiente exterior;
- Factor F – Características do uso;
- Factor G – Nível de manutenção.

O Método Factorial para a estimativa da vida útil de determinado produto da construção expressa-se na seguinte fórmula:

$$\text{Vida útil estimada (VUE)} = \text{Vida útil de referência (VUR)} \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \quad (1)$$

2.7.1. VIDA ÚTIL ESTIMADA

A vida útil de referência é a vida útil padrão que serve de base para a estimativa da vida útil de um edifício ou de uma parte de um edifício.

Os dados utilizados na previsão da vida útil de referência poderão ser provenientes da observação ou medição do desempenho em ensaio de curta ou longa duração, em laboratório ou em serviço, e devem ser obtidos, sempre que possível, através da metodologia de previsão da vida útil sugerida pela norma ISO 15686-1 [1].

Qualquer que seja o método seleccionado para a previsão da vida útil deverão ser considerados os seguintes aspectos:

- Os agentes de degradação;
- Os efeitos da intensidade e da variação da acção desses agentes;
- A sobreposição dos efeitos da acção de vários agentes.

Importa referir que causas acidentais de degradação total súbita não se enquadram no âmbito da metodologia.

Quando não for possível determinar o valor da vida útil de referência segundo a metodologia descrita, este pode ser baseado, segundo a norma ISO 15686-1 [1], em:

- Dados fornecidos pelo fabricante ou resultados de um laboratório de ensaios (para um produto novo, normalmente, apenas se tem acesso a dados do fabricante);
- Dados de experiências anteriores ou observações de construções similares ou que se encontram em condições similares;
- Informação contida em Documentos de Homologação ou outra documentação desse tipo;
- Informação recolhida em bibliografia relacionada com o tema da durabilidade.

A fiabilidade do valor da estimativa da vida útil a calcular pelo Método Factorial depende da precisão do valor da vida útil de referência.

2.7.2. FACTORES MODIFICADORES

É importante identificar os efeitos de cada uma das condições específicas sobre a vida útil de um produto da construção.

Deverá haver o cuidado de não duplicar a contabilização da influência de uma determinada condição. Por exemplo, quando a vida útil de referência é dada por um determinado fabricante é necessário conhecer as condições em que foi baseada, para que não se volte a contabilizar o efeito de determinadas variáveis.

Os valores a adoptar para os factores modificadores representam o desvio em relação às condições de referência (vida útil de referência) e, por isso, andarão próximos de 1.

Os valores sugeridos pela norma ISO 15686-1 [1] são os seguintes:

Quadro 2.4 – Valores de desvio em relação à condição de referência [1].

Valor	Desvio em relação à condição de referência
0,8	Quando o factor tem influência negativa sobre o elemento
1,0	Quando o factor não apresenta desvio em relação à condição de referência
1,2	Quando o factor tem influência positiva sobre o elemento

Apresenta-se a descrição dos factores modificadores, segundo a norma ISO 15686-1 [1]:

- Factor A – Qualidade do produto de construção: representa a qualidade dos materiais ou componentes nas condições em que são fornecidos à obra, segundo as especificações do projectista;
- Factor B – Nível de qualidade do projecto: exprime o nível de qualidade do projecto. Este factor tem a ver com a adequação da escolha de uma solução construtiva específica, das medidas de protecção previstas, etc.;
- Factor C – Nível de qualidade da execução: refere-se à qualidade da execução. A avaliação deste factor deverá reflectir o grau de confiança da mão-de-obra mas também a existência ou não de fiscalização rigorosa;
- Factor D – Características do ambiente interior: refere-se às características do ambiente interior, tendo em conta os agentes de degradação;
- Factor E – Características do ambiente exterior: refere-se às características do ambiente exterior, tendo em conta os agentes de degradação;
- Factor F – Características do uso: reflecte o efeito do uso na degradação do material ou componente;
- Factor G – Nível de manutenção: refere-se à manutenção e deve dar conta da probabilidade da existência de uma manutenção adequada.

3

COBERTURAS PLANAS

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

As coberturas protegem os edifícios das intempéries e da radiação solar e garantem o conforto térmico no interior do edifício. As várias camadas deste sistema construtivo, apresentadas no sub-capítulo 3.4, possuem funções distintas, todas elas essenciais para a satisfação das exigências funcionais das coberturas planas.

A posição aproximadamente horizontal das coberturas planas torna-as mais susceptíveis aos efeitos dos agentes atmosféricos, já que estes actuam de forma mais directa e intensa na cobertura do que nos outros elementos da construção.

Entende-se por cobertura plana, ou em terraço, aquela em que os materiais que a constituem estão dispostos em camadas horizontais ou próximo dessa posição [7]. Na realidade, uma cobertura plana terá uma pendente mínima de 1%, de acordo com o Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) [8], e máxima de 8% a 15%, consoante os países.



Figura 3.1 – Coberturas planas [9].

3.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS DAS COBERTURAS PLANAS

Pode-se definir exigência funcional como um requisito colocado a parte de um edifício ou ao seu todo, tendo em vista a satisfação de determinadas necessidades dos utentes (fisiológicas, psicológicas e sócio-económicas).

A manutenção de níveis aceitáveis de desempenho das camadas que constituem a cobertura será garantida através da satisfação das exigências funcionais, que é dependente do comportamento físico dos elementos de construção às acções a que estão sujeitos durante a vida útil.

As exigências funcionais das coberturas planas podem ser agrupadas em três classes: exigências de segurança, de habitabilidade e de durabilidade. Complementarmente, indica-se uma classe relativa a exigências de economia (Quadro 3.1) [7].

De uma maneira geral, a satisfação das exigências de segurança deve ser garantida pela estrutura resistente, enquanto que o revestimento de impermeabilização e o seu suporte contribuem para o cumprimento das exigências de habitabilidade e a camada de protecção da impermeabilização assegura níveis adequados de durabilidade.

Quadro 3.1 – Exigências funcionais e de economia de coberturas planas [7].

Exigências	Tipos discriminados de exigências	
Segurança	Segurança estrutural	dimensionamento para combinações de acções
	Segurança contra os riscos de incêndio	
	Segurança contra riscos inerentes ao uso normal	acções de punçoamento acções de choques acidentais
	Resistência das camadas não estruturais da cobertura a outras acções	acção dos agentes atmosféricos variações das condições ambientes interiores
Habitabilidade	Estanquidade	à água à neve às poeiras ao ar
		isolamento térmico riscos de condensações protecção solar
		sons aéreos sons de percussão
		iluminação natural reflectividade da camada protectora
	Disposição de acessórios e equipamento	
	Aspecto	exterior interior
Durabilidade	Conservação das qualidades	conservação das resistências mecânicas conservação dos materiais resistência a acções decorrentes do uso normal
Economia	Manutenção	
	Limitação do custo global Economia de energia	

3.3. CLASSIFICAÇÃO DAS COBERTURAS PLANAS

As coberturas planas podem ser classificadas segundo a sua acessibilidade, camada de protecção da impermeabilização, tipo de revestimento de impermeabilização, localização da camada de isolamento térmico, pendente e estrutura resistente.

3.3.1. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À ACESSIBILIDADE

Tendo em conta a presença de pessoas e/ou veículos podem-se distinguir as seguintes classes de coberturas (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 – Classificação quanto à acessibilidade [7].

Classes de cobertura		Tipos de utilização
Não acessíveis		Acesso limitado a trabalhos de manutenção e reparação
Acessíveis a pessoas		Acesso limitado à circulação de pessoas
Acessíveis a veículos	Ligeiros	Acesso limitado à circulação de veículos ligeiros e de pessoas
	Pesados	Acesso limitado à circulação de veículos pesados e ligeiros e de pessoas
Coberturas especiais		Coberturas com jardins, equipamentos industriais ou de outro tipo

Nas coberturas não acessíveis devem ser criados caminhos de circulação que protejam o revestimento de impermeabilização das acções devidas à circulação de pessoas para trabalhos de manutenção e reparação.

3.3.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CAMADA DE PROTECÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO

Quanto ao tipo de protecção da impermeabilização utilizado as coberturas podem ser de três grupos:

- Coberturas sem protecção;
- Coberturas com protecção leve;
- Coberturas com protecção pesada.

São consideradas coberturas sem protecção, aquelas em que o revestimento de impermeabilização fica aparente, ou seja, não tem qualquer camada aplicada sobre este ou integrada neste mesmo revestimento.

Nas coberturas com protecção leve, esta pode ser aplicada em obra sobre o revestimento de impermeabilização, constituída por uma pintura ou materiais granulares, ou aplicada em fábrica sobre a superfície superior do revestimento de impermeabilização, chamada de auto-protecção.

As coberturas com protecção pesada podem ser formadas por uma camada rígida (betonilha de argamassa, ladrilhos sobre betonilha, placas pré-fabricadas de betão, de material cerâmico e de madeira) ou por materiais soltos, como godos ou materiais britados. A protecção pesada é aplicada em obra.

No Quadro 3.3 apresenta-se a classificação das coberturas quanto à camada de protecção.

Quadro 3.3 – Classificação quanto ao tipo de protecção e materiais [7].

Classes de cobertura	Materiais de protecção		
	Aplicação	Natureza	Designação
Sem protecção			
Com protecção leve	em fábrica	mineral	areia fina, areão, gravilha
			lamelas de xisto
		metálica	folha de alumínio
	em obra		folha de cobre
		orgânica	folha de plástico
		mineral	areão, gravilha
Com protecção pesada	em obra, em camada rígida	orgânica	tintas de alumínio
			pinturas com cal
			betonilha
	em obra, em camada com material solto		ladrilhos sobre betonilha
			placas pré-fabricadas (betão, material cerâmico, madeira)
			godo, calhau ou seixo
			material britado

3.3.3. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO TIPO DE REVESTIMENTO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Os revestimentos de impermeabilização podem ser tradicionais ou não-tradicionais. Os revestimentos tradicionais são aqueles em que se conhecem bem as suas características e existe prática suficiente da sua utilização. Pelo contrário, os revestimentos não-tradicionais exigem estudos mais ou menos complexos e visitas a obras onde o material tenha sido ou esteja a ser aplicado. Ambos podem ser aplicados “in situ”, na forma líquida ou pastosa, ou podem ser pré-fabricados.

3.3.4. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À LOCALIZAÇÃO DA CAMADA DE ISOLAMENTO TÉRMICO

A camada de isolamento térmico pode ser disposta em três zonas distintas.

Numa cobertura tradicional a camada de isolamento térmico está sob a impermeabilização ou sob a camada de forma.

Quando a camada de isolamento térmico está sobre o sistema de impermeabilização, a cobertura designa-se por cobertura invertida.

A camada de isolamento térmico ainda pode ser aplicada pela face inferior da estrutura resistente, em tectos falsos ou aderente à estrutura resistente.

Nas coberturas tradicionais, o sistema de impermeabilização, ao ser aplicado por cima do isolamento térmico, fica submetido ao choque térmico, danos mecânicos, radiação ultravioleta e humidade. Nestas, é necessário colocar uma barreira pára-vapor sob o isolante devido à permeabilidade desta solução ao vapor de água.

Actualmente, as coberturas invertidas são as mais utilizadas e têm a vantagem de proteger a impermeabilização da cobertura, porque reduzem significativamente o choque térmico na membrana de impermeabilização, quer para efeitos diários quer para sazonais, e protegem-na dos danos mecânicos, durante a execução das obras.

3.3.5. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À PENDENTE

As Guias da União Europeia para a Apreciação Técnica da Construção (Guias UEAtc) propõem uma classificação, tendo em conta a facilidade de escoamento da água e a possibilidade de aplicação de determinados tipos de protecção sobre a mesma [10].

O Quadro 3.4 apresenta a classificação das coberturas planas quanto à pendente.

Quadro 3.4 – Classificação quanto à pendente [10].

Classe I	coberturas cuja pendente origina estagnação de 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, embora permitindo o escoamento fácil da água, não aceitam a aplicação de protecção pesada.
Classe IV	coberturas cuja pendente impõe medidas especiais na aplicação das suas camadas.

3.3.6. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À ESTRUTURA RESISTENTE

A estrutura resistente de uma cobertura plana pode ser flexível, se as deformações relativas na direcção perpendicular ao plano da cobertura forem significativas, ou rígida, se as deformações forem muito pequenas.

As estruturas rígidas podem ser ainda contínuas, se não tiverem juntas, ou descontínuas, se tiverem juntas distribuídas de uma forma regular e com espaçamento reduzido.

Quadro 3.5 – Classificação quanto à estrutura resistente [7].

Classe de cobertura		Soluções correntes
Com estrutura resistente rígida	contínua	pré-lajes lajes maciças e aligeiradas de betão armado ou pré-esforçado
	descontínua	pranchas vazadas "perfis" especiais
Com estrutura resistente flexível, em geral descontínua		chapas metálicas nervuradas pranchas de madeira ou seus derivados

3.4. CONSTITUIÇÃO DAS CAMADAS DE UMA COBERTURA PLANA

Uma cobertura plana é constituída pelos seguintes elementos, alguns dos quais poderão não existir ou estarem dispostos por uma ordem diferente: estrutura resistente, camada de regularização, camada de forma, camada de difusão de vapor de água, barreira pára-vapor, camada de isolamento térmico, revestimento de impermeabilização, camada de dessolidarização e camada de protecção do revestimento de impermeabilização.

A Figura 3.2 ilustra a constituição de uma cobertura plana tradicional.

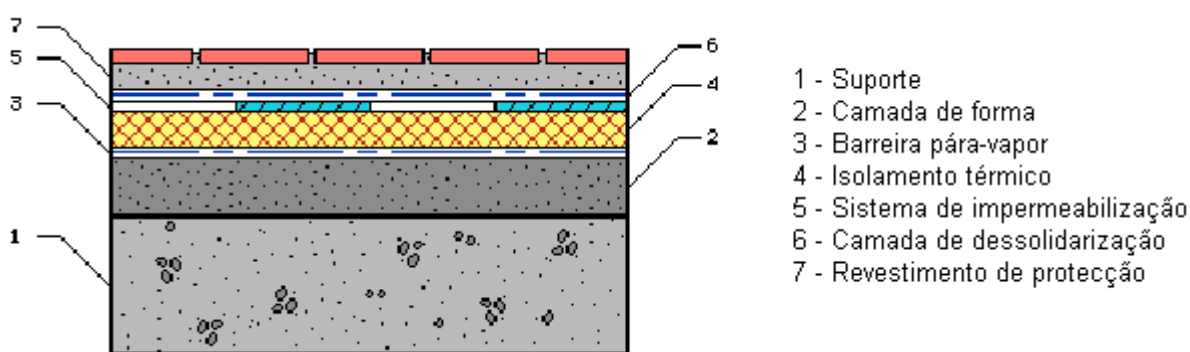


Figura 3.2 – Cobertura plana (tradicional) [11].

3.4.1. ESTRUTURA RESISTENTE

O suporte resistente pode ser uma laje contínua ou um conjunto de elementos pontuais. Pode ser executado com pendente para não ser necessária camada de forma.

Esta parte da cobertura está estritamente ligada às exigências mecânicas e deve atender às sobrecargas devidas à acumulação de neve ou água, necessidades de manutenção e ao peso próprio da cobertura.

As estruturas rígidas contínuas constituem, normalmente, as soluções de edifícios de habitação, escritórios e estacionamento, enquanto as estruturas descontínuas rígidas e flexíveis constituem as soluções de cobertura de grandes vãos, como unidades industriais, pavilhões e superfícies comerciais.

3.4.2. CAMADA DE REGULARIZAÇÃO

A camada de regularização é uma camada de pequena espessura constituída, normalmente, por argamassa, que permite regularizar a superfície da estrutura resistente, tornando-a lisa e em condições de receber a camada seguinte, com o cuidado de apresentar propriedades mecânicas (resistência mecânica, compacidade e durabilidade) adequadas à aplicação de uma camada sobrejacente.

3.4.3. CAMADA DE FORMA

A camada de forma tem como função principal definir a pendente da cobertura, proporcionando um escoamento rápido das águas pluviais para as caleiras e minimizando o tempo em que a água está em contacto com o revestimento de impermeabilização. Esta camada também pode constituir a camada de isolamento térmico.

Por razões de dimensionamento estrutural da estrutura resistente, devido ao peso da camada de forma, é conveniente que esta seja constituída por materiais de peso volúmico reduzido, como betão de argila expandida, betão de granulado de cortiça, betão de poliestireno expandido e betão celular, que ainda funcionam como complemento ao isolamento térmico.

3.4.4. CAMADA DE DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA

A camada de difusão de vapor de água é aplicada, em geral, entre o revestimento de impermeabilização e o seu suporte, isolante ou não, e destina-se a igualar a pressão de vapor de água confinada entre aquelas duas camadas. O vapor deve ser libertado para o exterior através de chaminés

de ventilação ou de remates específicos com elementos emergentes, para evitar anomalias como os empolamentos [7].

O material mais utilizado é uma membrana betuminosa com revestimento inferior com grânulos de cortiça ou de poliestireno expandido.

3.4.5. BARREIRA PÁRA-VAPOR

A barreira pára-vapor é aplicada sob a camada de isolamento térmico e tem como função impedir a passagem do fluxo de vapor de água para as camadas sobrejacentes, especialmente para a de isolamento térmico, onde a condensação desse vapor reduziria a capacidade isolante. A barreira pára-vapor impede a chegada do vapor de água à zona fria da cobertura e, conseqüentemente, impede a condensação do mesmo.

Na cobertura tradicional o vapor de água que se acumula no isolamento térmico pode levar à sua deterioração. Esta situação pode ser mais gravosa em habitações com forte higrometria, ou seja, com grande produção de vapor e sem ventilação mecânica.

Na cobertura invertida é dispensada a utilização de barreira pára-vapor e da camada de difusão de vapor de água.

Os materiais constituintes de uma barreira pára-vapor podem ser, por exemplo, membranas betuminosas, filmes de polietileno e folhas de alumínio.

3.4.6. CAMADA DE ISOLAMENTO TÉRMICO

A principal função da camada de isolamento térmico é contribuir para a satisfação das exigências de conforto térmico dos espaços subjacentes através da redução das trocas de calor entre o exterior e o interior.

A solução de isolamento térmico por baixo da estrutura resistente é mais vocacionada para a reabilitação de edifícios. Os materiais utilizados nesta solução são normalmente espumas de poliuretano projectado e lã de rocha.

Nas coberturas tradicionais utilizam-se frequentemente a lã de rocha, a lã de vidro e o betão leve. As placas de isolamento térmico são normalmente assentes com as juntas desencontradas e coladas com betume.

Nas coberturas invertidas o material mais utilizado é o poliestireno expandido extrudido. Nestas coberturas utilizam-se isolamentos térmicos impermeáveis à água, uma vez que estes ficam acima da camada de impermeabilização. As placas de isolamento são normalmente fixadas por lastro do material do revestimento de protecção.

No Quadro 3.6 apresentam-se os materiais isolantes térmicos.

Tendo em conta a exposição a variações de temperatura e às solicitações mecânicas resultantes da passagem de pessoas e veículos, o isolamento térmico deve apresentar propriedades de compressibilidade e estabilidade que permitam um bom funcionamento do próprio isolamento e da camada de impermeabilização.

Quadro 3.6 – Materiais isolantes térmicos [7].

Classe	Material isolante
Isolantes minerais	Fibras minerais (lã de rocha e de vidro)
	Perlite expandida
	Vermiculite expandida
	Espuma de vidro
	Betão celular
	Betões com inertes leves
Isolantes vegetais	Aglomerado negro de cortiça
	Aglomerado de fibras de madeira
	Aglomerado de partículas de madeira
	Aglomerado de aparas de madeira
	Aglomerado de fibras de linho
Isolantes sintéticos	Poliestireno expandido moldado
	Poliestireno expandido extrudido
	Espumas rígidas de poliuretano
	Espumas de polisocianurato
	Espumas fenólicas
Isolantes mistos	Perlite expandida + Poliuretano
	Perlite expandida + Lã de rocha

3.4.7. REVESTIMENTO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

O revestimento de impermeabilização é a camada mais importante de uma cobertura plana porque garante a satisfação das exigências de estanquidade à água. O revestimento de impermeabilização deve ainda ter outras características, como a capacidade de se deformar sem rotura ou fissuração ao longo da sua vida útil, tanto sob a acção das sucções do vento, como eventuais movimentos do seu suporte (camada de isolamento térmico ou camada de regularização).

Os materiais que constituem os sistemas de impermeabilização podem ser classificados segundo vários critérios, como a natureza dos materiais, a sua funcionalidade e a tradicionalidade ou não dos materiais.

Neste trabalho, apenas serão estudados os revestimentos de impermeabilização não-tradicionais pré-fabricados.

No Quadro 3.7 apresentam-se os materiais utilizados na impermeabilização de coberturas planas.

Os sistemas de impermeabilização podem ser classificados quanto à sua constituição e quanto ao modo de ligação ao suporte.

No Quadro 3.8 apresenta-se a classificação dos sistemas de impermeabilização de coberturas quanto à sua constituição.

Quadro 3.7 – Classificação de materiais de impermeabilização de coberturas [7].

Classificação		Tipo	
Materiais tradicionais	Materiais betuminosos	Betume asfáltico	
		Asfalto	
		Alcatrão e derivados	
	Materiais auxiliares	Armaduras	Feltros
			Telas
			Folhas
		Matérias minerais	Cargas
			Acabamentos
		Materiais metálicos	Folhas
	Produtos elaborados	Emulsões betuminosas	
		Pinturas betuminosas	
		Produtos betuminosos modificados	
		Ligantes	
		Cimento vulcânico	
	Produtos pré-fabricados	Armaduras saturadas ou impregnadas	Feltros betuminosos
			Telas betuminosas
		Membranas betuminosas	Armadas com feltro
			Armadas com tela
			Armadas com folha
Materiais não-tradicionais	Produtos líquidos ou em pasta	Emulsões modificadas	
		Polímeros diversos	
		Materiais plásticos	Termoplásticos
			Termoendurecidos
		Resinas diversas	Polietileno
			Polipropileno
			Epóxidas
			Vinílicas
			Poliuretano
			Acrílicas e silicónicas
			Poliéster
	Produtos pré-fabricados	Membranas	Betumes modificados
			Termoplásticas
			Elastoméricas

Quadro 3.8 – Classificação de sistemas de impermeabilização quanto à sua constituição [7].

Sistemas tradicionais	Aplicados "in situ"	Camadas múltiplas de asfalto
		Camadas múltiplas de emulsões betuminosas
	Com produtos pré-fabricados	Camadas múltiplas de membranas, telas ou feltros betuminosos
Sistemas não-tradicionais	Aplicados "in situ"	Camadas múltiplas de resinas acrílicas
		Camadas múltiplas de resinas poliméricas
		Camadas múltiplas de emulsões de betumes modificados
		Espumas de poliuretano
	Com produtos pré-fabricados	Membranas de betumes modificados
		Membranas termoplásticas
		Membranas elastoméricas

Quanto ao modo de ligação ao suporte, os sistemas de impermeabilização em superfície corrente podem ser classificados de quatro formas distintas:

- Sistemas aderentes;
- Sistemas semi-aderentes;
- Sistemas independentes;
- Sistemas fixados mecanicamente.

Nos sistemas aderentes existe total ligação do sistema de impermeabilização ao suporte, que pode ser feita através da utilização de produtos de ligação, ou pela fusão de material da superfície inferior do revestimento, com posterior aperto deste contra o suporte [7].

No primeiro caso, o produto de ligação pode ser aplicado a quente (betume insuflado) ou a frio (colas especiais).

A segunda técnica é usada em membranas com base em betume ou em membranas termoplásticas. A fusão do betume é feita através da chama de um maçarico a gás propano. Nas membranas termoplásticas a técnica de fusão consiste na utilização de ar quente.

Os sistemas aderentes são os mais susceptíveis ao comportamento evidenciado pelo isolamento térmico, tanto devido ao efeito da temperatura, como devido ao efeito do vento [12].

Neste sistema os materiais estão sujeitos a deformarem-se com a base de suporte e, como tal, devem ser muito deformáveis de modo a poderem suportar as deformações do suporte. Tais deformações provocam tensões na camada de impermeabilização e no material de colagem.

As infiltrações que possam ocorrer nos sistemas aderentes são limitadas e, por isso, fáceis de localizar e reparar.

Este sistema deve ser aplicado em edifícios altos, em locais com muito vento, nos paramentos dos muretes, em coberturas sem protecção no perímetro e em coberturas com circulação de veículos (cuja travagem pode provocar o arrancamento da membrana) [13].

Nos sistemas semi-aderentes, a ligação da impermeabilização ao suporte é feita no perímetro, nos pontos singulares (sumidouros e elementos emergentes) e em alguns pontos da cobertura, através de produtos de colagem a quente ou a frio. A aplicação destes produtos sobre o suporte é feita de forma mais ou menos aleatória. A segunda camada tem que ser totalmente solidária com a primeira através da fusão do material.

A superfície corrente do sistema que fica aderente ao suporte pode variar entre cerca de 15% a 50%. Quando a superfície aderente for inferior a 10% recomenda-se a colocação de uma protecção pesada sobre o sistema de impermeabilização [7].

Nos sistemas independentes, distinguem-se os que são simplesmente aplicados sobre o suporte, daqueles em que a garantia de independência do sistema é conseguida através da colocação de uma camada de dessolidarização entre o sistema de impermeabilização e o suporte.

Nos primeiros, as membranas são soldadas entre si através da fusão do material e ligadas ao suporte nas zonas de concordância entre planos verticais e nos pontos singulares.

No segundo caso, utiliza-se uma camada de dessolidarização para reduzir a interacção entre o revestimento de impermeabilização e o suporte.

Em ambos os casos deverá ser aplicada uma protecção pesada de modo a resistir à acção do vento.

Em sistemas independentes, as deformações da cobertura têm uma repercussão muito baixa no sistema de impermeabilização.

Os sistemas independentes e semi-aderentes têm a vantagem de serem executados facilmente, no entanto, é necessário atender às acções do vento.

Finalmente, designa-se por sistema de impermeabilização fixado mecanicamente o que utiliza peças específicas para o fixar ao seu suporte, sobretudo para assegurar a sua estabilidade aos efeitos do vento sobre a cobertura. Se o suporte não for a estrutura resistente, o que frequentemente acontece, as peças de fixação são geralmente amarradas a essa estrutura, atravessando as camadas intermédias, podendo contribuir para a ligação da camada de isolamento térmico (quando realizada com base em placas de material isolante), da barreira pára-vapor e da camada de regularização à estrutura resistente.

Existem dois tipos de fixações mecânicas: as pontuais e as lineares. Nas fixações pontuais cada parafuso ou rebite dispõe de uma chapa de aço ou de plástico que permite a distribuição das forças de aperto, a qual é localizada em cada ponto da fixação. Nas fixações lineares o elemento de distribuição das forças de aperto desenvolve-se numa direcção, recebendo essas forças de vários parafusos ou rebites colineares, transmitindo-as uniformemente sobre a impermeabilização.

Em qualquer dos quatro processos de fixação, os remates da impermeabilização em superfície corrente com elementos emergentes da cobertura são realizados totalmente aderentes.

3.4.8. CAMADA DE DESSOLIDARIZAÇÃO

A camada de dessolidarização é aplicada entre o revestimento de impermeabilização e o seu suporte ou entre o revestimento de impermeabilização e a camada de protecção pesada.

Esta camada é utilizada para evitar danos na camada de impermeabilização por efeito mecânico, especialmente no caso de coberturas acessíveis a veículos.

Os materiais utilizados são papel “kraft”, feltros betuminosos, papel siliconado e mantas geotêxteis.

3.4.9. PROTECÇÃO DO REVESTIMENTO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

A camada de protecção tem a função de proteger o revestimento de impermeabilização dos efeitos da radiação solar, da acção do vento, das acções mecânicas provocadas pela circulação de pessoas e veículos e contribui ainda para melhorar a resistência ao fogo do sistema de impermeabilização ou do isolamento térmico.

Em § 3.3.2 apresentaram-se os tipos de soluções e materiais utilizados na camada de protecção.

Nas coberturas sem protecção o revestimento de impermeabilização fica aparente, sem qualquer camada aplicada sobre o mesmo ou integrada nesse revestimento.

Nas coberturas com protecção leve, esta pode ser aplicada em fábrica sobre a superfície superior do revestimento de impermeabilização (auto-protecção) ou executada em obra sobre o revestimento. Este tipo de protecção da impermeabilização tem em conta, fundamentalmente, a acção dos agentes climáticos.

Em coberturas com protecção pesada deve ter-se em conta o aumento de peso provocado por esta camada no dimensionamento da cobertura. Os materiais soltos devem ter pelo menos 25 mm para resistirem à acção do vento e devem ser utilizados preferencialmente godos em vez de materiais britados, por estes últimos terem arestas vivas capazes de danificar a impermeabilização.

As placas pré-fabricadas podem ser aplicadas sobre o revestimento de impermeabilização, com interposição de uma camada de dessolidarização, ou sobre apoios pontuais de plástico, betão ou argamassa. Este tipo de protecção permite a fácil dilatação das placas e aumenta a protecção térmica e o sombreamento da cobertura através da caixa-de-ar formada pelo sistema de apoio.

3.4.10. BARREIRAS DE PROTECÇÃO TÉRMICA E DE SEPARAÇÃO QUÍMICA

As barreiras de protecção térmica e de separação química são colocadas em obra, sobre o revestimento de impermeabilização, ou vêm já incorporadas de fábrica no revestimento de impermeabilização.

A barreira de protecção térmica tem como função evitar a degradação do suporte resultante da acção de temperaturas elevadas.

A barreira de separação química evita o contacto directo entre materiais quimicamente incompatíveis do suporte e do revestimento de impermeabilização. Esta camada pode ser formada, por exemplo, por areia ou feltros de poliéster. Como exemplos de materiais quimicamente incompatíveis entre si destacam-se o poliuretano e os betuminosos, ou o poliestireno extrudido e as telas de PVC.

4

REVESTIMENTOS DE COBERTURAS PLANAS

Os revestimentos de coberturas planas estudados no âmbito deste trabalho são as membranas de impermeabilização, os ladrilhos cerâmicos, os ladrilhos hidráulicos e as lajetas pré-fabricadas de betão.

4.1. MEMBRANAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Actualmente, as membranas não-tradicionais pré-fabricadas são os materiais mais utilizados na impermeabilização de coberturas planas. Para além desta função, as membranas podem ainda ser utilizadas como revestimento de coberturas planas, possuindo ou não uma protecção leve.

As membranas de impermeabilização não-tradicionais pré-fabricadas são as de betumes polímeros (APP e SBS), as termoplásticas (PVC plastificado e TPO/FPO) e as elastoméricas (EPDM, borracha butílica, PIB e CPE).

Algumas das considerações feitas nos pontos 4.1.1 a 4.1.7 constam da Informação Técnica do LNEC – Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas em Terraço [7].

4.1.1. MEMBRANAS DE BETUMES POLÍMEROS

Em Portugal, as membranas mais comercializadas e aplicadas são as de betumes polímeros. As vantagens deste tipo de membrana prendem-se com o seu baixo custo e grande conhecimento das soluções construtivas.



Figura 4.1 – Membranas de betumes polímeros.

As membranas de betumes polímeros são obtidas por recobrimento de uma ou duas armaduras, com uma mistura betuminosa modificada à qual foi adicionada uma resina plastomérica, polímero de polipropileno atáctico (membranas de betume polímero APP), ou uma resina elastomérica, polímero de estireno-butadieno-estireno (membranas de betume polímero SBS).

São as armaduras que conferem às membranas um comportamento adequado face às solicitações causadas pela circulação de pessoas ou veículos, queda de objectos, deformações do suporte, variações de temperatura e acção do vento.

As armaduras utilizadas nas membranas de betumes polímeros são normalmente feltros de poliéster ou de fibras de vidro. Estes dois tipos de armaduras podem estar incorporados numa mesma membrana. A massa por unidade de superfície dos feltros de poliéster pode variar entre 150 g/m² e 250 g/m², e nos feltros de fibra de vidro esse valor é geralmente de 50 g/m².

As armaduras de poliéster apresentam boa resistência ao punçoamento e à tracção, esta pode variar entre os 450 e os 800 N na direcção longitudinal e os 400 e 700 N na direcção transversal. As armaduras de fibra de vidro apresentam uma resistência à tracção bastante inferior, cerca de 100 N na direcção longitudinal e 50 N na direcção transversal. A extensão na rotura varia entre 20% e 50% em ambas as direcções nas armaduras de poliéster e entre cerca de 1% e 3% nas armaduras de fibra de vidro. Estas apresentam boa estabilidade dimensional mas, como não se alongam, devem ser protegidas da radiação solar e sendo menos resistentes ao punçoamento devem ser utilizadas em coberturas de acessibilidade limitada ou na membrana inferior do sistema semi-aderido.

As membranas de APP que englobam armaduras constituídas por folhas de polietileno de alta densidade são menos utilizadas. Este tipo de armadura tem uma massa por unidade de superfície de 90 g/m², apresenta extensões na rotura de cerca de 600% e forças de rotura de 100 a 170 N.

Durante o processo de fabrico são aplicados os acabamentos nas faces superior e inferior da membrana. Os materiais mais utilizados são:

- Folhas de polietileno ou polipropileno, geralmente com 10 µm de espessura, aplicadas em qualquer das faces, para evitar a aderência entre as faces das membranas ao enrolar;
- Granulado mineral (areia ou laminado de ardósia ou de xisto) aplicado na face superior;
- Folha de alumínio aplicada na face superior.

Estes dois últimos tipos de acabamentos são aplicados em membranas autoprotectidas.

4.1.1.1. Membranas de betume polímero APP

A mistura de betume polímero APP é constituída principalmente por um betume de destilação directa, polipropileno atáctico, cargas e aditivos diversos. Os dois constituintes principais, o polímero APP e o betume de destilação directa, estão na proporção aproximada de um para dois, respectivamente. Entre os aditivos destacam-se os copolímeros de etileno-propileno. As cargas mais utilizadas são as de origem mineral, de granulometrias reduzidas (fillers) e as do tipo fibroso (fibras de amianto). A quantidade de cargas minerais finas na mistura varia geralmente entre 5% e 20%.

Sujeitando a mistura de APP ao envelhecimento em estufa ventilada a 70 °C durante seis meses, verifica-se que a temperatura de amolecimento da mistura, antes de envelhecida, oscila entre 130 °C e 150 °C e varia um a dois graus centígrados por acção do calor, quando envelhecida.

A espessura nominal mais corrente das membranas APP é 4,0 mm, podendo variar entre 3,0 e 5,0 mm, com massas nominais por unidade de superfície entre 3,0 e 5,0 kg/m².

As membranas são comercializadas em rolos com larguras nominais de 1,0 m e comprimentos de 10 ou 12 m.

A resistência à tracção na direcção longitudinal (direcção de fabrico) varia entre 550 e 1200 N e é superior à resistência na direcção transversal que varia entre 400 e 950 N. A dimensão elevada dos intervalos deve-se à natureza e massa por unidade de superfície das armaduras das membranas e, eventualmente, à existência de fibras de reforço nas armaduras.

O alongamento na rotura é semelhante nas duas direcções, variando entre 30 e 72%. Esta característica ainda pode descer até aos 10% no caso da membrana ser constituída por uma armadura de fibra de vidro.

A resistência das membranas ao rasgamento é superior na direcção transversal, variando entre 131 e 350 N, enquanto que na direcção longitudinal varia entre 105 e 330 N. A resistência será maior ou menor consoante o tipo de armadura, sendo que os valores mais baixos correspondem a armaduras de fibra de vidro.

A acção de temperaturas elevadas interfere na estabilidade dimensional das membranas provocando, na generalidade, contracções na direcção longitudinal e dilatações na direcção transversal. As deformações não ultrapassam 0,5 %.

A flexibilidade a baixa temperatura diz respeito à temperatura acima da qual não ocorre fissuração e, para membranas novas, os valores são da ordem dos -20 a -30 °C, diminuindo após o seu envelhecimento, mais sob a acção do calor do que sob a acção da radiação ultravioleta.

O comportamento ao calor refere-se à temperatura abaixo da qual não se verifica escorrimento dos produtos betuminosos, podendo variar entre 120 e 160 °C. Estes valores não sofrem alterações significativas após o envelhecimento da membrana.

4.1.1.2. Membranas de betume polímero SBS

A mistura de betume polímero SBS é constituída por um betume, em geral de destilação directa, um polímero elastomérico de estireno-butadieno-estireno (SBS), cargas minerais e aditivos, como plastificantes e anti-oxidantes. A quantidade de polímero na mistura varia entre 7 e 15%. A quantidade de material fino incorporado na mistura não excede os 30%.

Sujeitando a mistura de SBS ao envelhecimento em estufa ventilada a 70 °C durante seis meses, verifica-se que a temperatura de amolecimento na mistura nova varia entre 107 e 123 °C, sendo, portanto, mais baixa do que a da mistura APP. Após envelhecimento, estes valores podem descer 30 °C.

A espessura nominal mais corrente das membranas SBS é 4,0 mm, podendo variar entre 2,0 e 5,0 mm, com intervalos de 0,5 mm.

As membranas são comercializadas em rolos com larguras nominais de 1,0 ou 2,0 m e comprimentos de 5 a 20 m.

A resistência à tracção na direcção longitudinal varia entre 350 e 1100 N e é superior à resistência na direcção transversal que varia entre 300 e 1000 N. Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos valores das membranas APP, uma vez que as armaduras são de natureza e massa semelhante.

O alongamento na rotura é semelhante nas duas direcções, variando entre 20 e 75%. Estes valores ainda podem ser mais baixos, no caso da membrana ser constituída por uma armadura de fibra de vidro.

A resistência das membranas ao rasgamento é superior na direcção transversal, variando entre 170 e 340 N, para armaduras de poliéster, e é cerca de 100 N, para armaduras de fibra de vidro. Na direcção longitudinal varia entre 160 e 380 N, para armaduras de poliéster, e é cerca de 80 N, para armaduras de fibra de vidro.

A acção de temperaturas elevadas também interfere na estabilidade dimensional das membranas SBS provocando, na generalidade, contracções na direcção longitudinal e dilatações na direcção transversal. As deformações não ultrapassam 0,5 %.

A temperatura acima da qual não ocorre fissuração, para membranas novas de SBS, varia entre -15 °C e -30 °C e a temperatura abaixo da qual não se verifica escorrimento dos produtos betuminosos, pode variar entre 95 e 135 °C. Em ambos os casos, a temperatura diminui ligeiramente após o envelhecimento da membrana em estufa a 70 °C durante seis meses. Estes valores são mais baixos do que os das membranas de APP.

Pode-se concluir que as membranas de betume polímero SBS apresentam melhor comportamento a baixas temperaturas, enquanto as membranas de betume polímero APP se comportam melhor em temperaturas elevadas.

4.1.1.3. Juntas de sobreposição das membranas de betumes polímeros APP e SBS

A qualidade das ligações entre membranas tem grande importância na qualidade dos sistemas de impermeabilização, em especial nos sistemas de camada única, devido ao maior risco de infiltrações de água para as camadas subjacentes da membrana.

O sistema de ligação das membranas e o método de execução devem estar de acordo com as indicações do fabricante. Normalmente, recomenda-se uma largura de sobreposição das membranas de 100 mm.

As juntas de sobreposição das membranas de betumes polímeros são executadas por soldadura das membranas, através de chama de maçarico a gás propano. O aquecimento da membrana na zona de sobreposição provoca o refluimento de material betuminoso que, depois de pressionada a face superior da membrana com uma espátula, permite a aderência entre as faces das duas membranas.



Figura 4.2 – Execução de juntas de sobreposição.

Quando for necessário colar uma membrana sobre outra que tenha auto-protecção de granulado mineral e não esteja interrompida no bordo longitudinal ou transversal, deve-se aquecer a superfície do granulado para que o betume reflua e depois pressionar a tela superior.

Nos sistemas de dupla camada, a segunda membrana deve ser aplicada, preferivelmente, paralela às primeiras mas com as juntas desencontradas ou, caso não seja possível, poderá ser aplicada na perpendicular.

A largura das juntas de sobreposição transversais pode chegar aos 150 mm, enquanto que nas juntas longitudinais esse valor varia, normalmente, entre os 80 mm e os 100 mm. A maior largura para as juntas transversais resulta do facto das deformações da membrana serem mais susceptíveis de ocorrer na direcção longitudinal, pois é nesta que o comprimento da membrana é maior.

A qualidade das juntas de sobreposição é avaliada através de ensaios de tracção-corte e de pelagem.

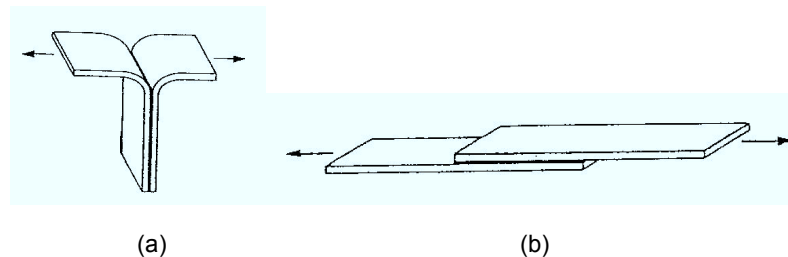


Figura 4.3 – Provete para ensaio de pelagem (a) e de tracção-corte (b) [14].

Nas membranas APP com armadura de poliéster e largura de sobreposição de 100 mm, as juntas transversais apresentam maiores resistências à tracção-corte (790 a 980 N) do que as juntas longitudinais (720 a 750 N), devido à maior resistência à tracção das armaduras na direcção longitudinal. Após envelhecimento ao calor (28 dias a 80 °C) e à água (7 dias em água a 60 °C), verifica-se um aumento das resistências que pode chegar aos 25%.

A resistência à tracção-corte das juntas de sobreposição das membranas SBS com armadura de poliéster é bastante inferior à das membranas APP, situando-se entre os 160 e 190 N para membranas novas com 100 mm de largura de junta. Após envelhecimento estes valores não sofrem alterações significativas.

A resistência média à pelagem para membranas APP com 100 mm de junta de sobreposição é cerca de 52 N [14].

Não devem ser executadas juntas de membranas APP a temperaturas inferiores a 5 °C e de membranas SBS a temperaturas inferiores a -5 °C.

4.1.1.4. Campo de aplicação das membranas de betumes polímeros

As membranas de betumes polímeros podem constituir sistemas aderentes, semi-aderentes ou independentes do suporte. Nos últimos anos, a crescente utilização de sistemas fixados mecanicamente levou à aplicação desta técnica em membranas de betumes polímeros.

A ligação das membranas ao suporte é feita, normalmente, através de soldadura por meio de chama, podendo ainda serem utilizados betumes insuflados a quente ou fixações metálicas.

Os sistemas podem ser de uma única camada ou de múltiplas camadas, sendo mais frequente a aplicação de membranas APP em camada única e de membranas SBS em camada dupla.

A aplicação de camada única é utilizada em coberturas de acessibilidade restringida a trabalhos de manutenção e reparação e quando a pendente não é nula. Se a cobertura for acessível deve aplicar-se um sistema de camada dupla e pelo menos uma membrana deve ser armada com feltro de poliéster. Um sistema de dupla camada, porque tem mais espessura, diminui o risco de infiltrações de água.

O suporte da impermeabilização deve estar seco, regular, limpo e livre de materiais soltos. Se o suporte não se encontrar seco podem formar-se empoamentos nas membranas, devido à evaporação da humidade. As irregularidades do suporte dificultam a planeza das juntas e o escoamento das águas, podendo formar poças, que degradam rapidamente as membranas betuminosas. A limpeza do suporte e das membranas e a ausência de materiais soltos são essenciais para garantir uma boa colagem das juntas e das membranas ao suporte.

O suporte está condicionado à acessibilidade da cobertura, que incide na deformação do suporte, e ao modo de ligação do sistema de impermeabilização, especialmente em sistemas aderentes, para que não ocorram incompatibilidades químicas. Referem-se como exemplos as placas de poliestireno expandido e de poliuretano que devem ter uma protecção adequada (papel “kraft” ou feltro betuminoso) para poderem ser utilizadas como suporte de impermeabilização.

4.1.2. MEMBRANAS DE PVC PLASTIFICADO

As membranas de PVC plastificado são constituídas por resina de policloreto de vinilo, plastificantes, estabilizantes, pigmentos e cargas, podendo ser armadas ou não-armadas. As armaduras mais utilizadas são as de poliéster, com massa nominal de cerca de 100 g/m², e as de fibra de vidro, com massa nominal de cerca de 50 g/m².

A armadura ou a aplicação de um feltro na face inferior da membrana minimiza as retracções das membranas devidas à perda de plastificantes e as variações dimensionais devidas à acção da temperatura.

Os plastificantes são um dos componentes principais da mistura, podendo variar entre 20 % e 40 %. Sem eles as membranas ficariam muito rígidas e pouco dúcteis, ou seja, muito quebradiças. Estes componentes podem ser mais ou menos voláteis e removidos por acção de solventes.

Os plastificantes utilizados nas membranas de PVC plastificado são normalmente monómeros (como os esteres fetálicos), que tornam estas membranas incompatíveis quimicamente com betumes, alcatrão, óleos, poliestireno expandido, poliuretano e espumas fenólicas, devido à perda do plastificante da membrana, por migração para aqueles materiais. A acção da água, do calor e da radiação ultravioleta não têm grande efeito na redução do teor de plastificante.

Os estabilizantes presentes na mistura de PVC têm como função principal evitar a perda dos plastificantes.

As membranas de PVC plastificado apresentam espessuras de 1,2 e 1,5 mm e massa por unidade de superfície entre 1,6 e 2,0 kg/m². São comercializadas em rolos de 15 a 25 m de comprimento e 1,0 a 2,0 m de largura.

Em membranas novas armadas com fibra de vidro a tensão de rotura na direcção longitudinal é cerca de 12,0 N/mm² e em membranas armadas com poliéster varia entre 15,3 e 20,5 N/mm². Estes valores mantêm-se sensivelmente constantes após envelhecimento.

O alongamento na rotura é naturalmente menor nas membranas armadas, e praticamente o mesmo na direcção longitudinal e transversal, sendo cerca de 210%, quando a armadura é de fibra de vidro, e

variando entre 246 e 365%, quando a armadura é de poliéster. O envelhecimento das membranas reduz ligeiramente o alongamento na rotura.

A estabilidade dimensional das membranas é afectada pela acção do calor (6 meses a 80 °C), verificando-se contracções na direcção longitudinal e dilatações na direcção transversal.

4.1.2.1. Juntas de sobreposição das membranas de PVC plastificado

As membranas de PVC plastificado podem ser ligadas por soldadura a ar quente ou com solventes orgânicos.

Na soldadura a ar quente os bordos da membrana são aquecidos e fundem, sendo comprimidos para garantir a aderência entre as membranas. O equipamento utilizado é a pistola com controlo manual ou automático.



Figura 4.4 – Soldadura a ar quente de membranas de PVC [15].

Na soldadura com solventes, a acção destes produtos derrete ligeiramente a superfície da membrana que, depois de pressionada, permite a colagem das faces das membranas.

A junta de sobreposição das membranas deve também ser selada com PVC líquido no bordo.

Se for aplicada uma camada resiliente (feltro) na face interior da membrana, aquela é normalmente interrompida junto aos bordos longitudinais para execução das juntas de sobreposição.

A largura da faixa efectivamente ligada é cerca de 40 mm, se a ligação for feita a ar quente, e cerca de 30 mm, caso se utilizem solventes orgânicos. Em sistemas fixados mecanicamente, a largura das juntas de sobreposição é normalmente de 100 mm, ficando as peças de fixação a 30 mm do bordo da membrana, para evitar o rasgamento das membranas por acção das sucções devidas ao vento.

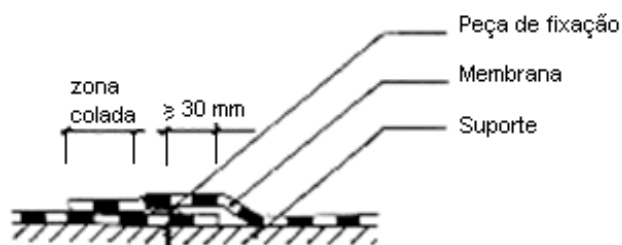


Figura 4.5 – Fixação mecânica de membranas de PVC [7].

Os valores da resistência à tracção-corte das juntas de sobreposição entre 25 e 40 mm coladas por soldadura a ar quente ou com solvente são cerca de 17,0 N/mm, para a direcção transversal, e variam

entre 14,6 e 26,5 N/mm, para a direcção longitudinal. A acção da água é mais prejudicial na perda da resistência à tracção-corte do que a acção do calor.

4.1.2.2. Campo de aplicação das membranas de PVC plastificado

As membranas de PVC plastificado são aplicadas em sistemas de camada única em coberturas de acessibilidade limitada, sendo ligadas ao suporte, geralmente, de forma independente ou fixadas mecanicamente.

Quando o sistema é independente do suporte, as membranas são fixadas apenas nos pontos singulares (perímetro e elementos emergentes) com colas com base em solventes orgânicos ou com fixações mecânicas. Na zona central aplica-se uma protecção pesada, normalmente seixo rolado, para proteger a tela da radiação solar e da acção do vento. Os seixos devem ter uma altura de 5 cm e um diâmetro de 16 mm.

A fixação mecânica das membranas ao suporte é normalmente executada em coberturas de grandes dimensões, onde a aplicação de protecção pesada obrigaria a construir estruturas menos económicas. Devem ser utilizadas membranas com armadura de poliéster com massas por unidade de superfície de pelo menos 100 g/m².

As membranas de PVC plastificado podem ficar aparentes quando não for necessária protecção pesada.

Não deve haver contacto directo entre as membranas de PVC e suportes em poliuretano ou poliestireno expandido, porque o contacto com estes materiais provoca eventuais migrações do plastificante da membrana para o suporte. A utilização de um geotêxtil (feltro) entre a membrana de PVC e este tipo de suportes permite resolver o problema.

4.1.3. MEMBRANAS DE POLIOLEFINAS (TPO OU FPO)

As membranas de poliolefinas podem ser divididas em dois grupos. No primeiro, a mistura é constituída por polipropileno (PP) e um copolímero termostático ou elastomérico, como etileno-propileno-dieno, etileno-propileno-borracha ou polietileno. No segundo, a mistura é constituída por polietileno (PE) e um copolímero termostático ou elastomérico, como etileno-propileno-dieno, etileno-propileno-borracha ou polipropileno. Ambas as misturas incluem ainda fileres, estabilizantes, retardadores de incêndio, anti-oxidantes e corantes [14].

As membranas de poliolefinas podem ser armadas (feltro de fibra de vidro) ou não, com protecção aplicada em obra (pinturas) ou em fábrica ou, ainda, sem qualquer protecção.

Estas membranas têm a vantagem de serem leves, compatíveis com óleos, poliestireno e betume, e resistentes ao calor, aos raios U.V. e a muitos produtos químicos,

As membranas possuem espessuras de 1,2 a 2,5 mm, largura de 2,10 m e comprimentos de 20 e 25 m. A massa por unidade de superfície toma valores de 1,10 a 2,27 kg/m² [14].

A tensão de rotura varia entre 1280 e 1332 N, na direcção transversal, e entre 1190 e 1255 N, na direcção longitudinal [14].

A extensão na rotura, para as duas direcções, é de 25 % [14].

4.1.3.1. Juntas de sobreposição das membranas de poliolefinas

As juntas de sobreposição devem ser realizadas a ar quente, podendo ainda ser utilizados produtos adesivos.

A largura mínima da junta de sobreposição é de 50 mm para sistemas independentes e de 100 mm para sistemas fixados mecanicamente.

4.1.3.2. Campo de aplicação das membranas de poliolefinas

As membranas de poliolefinas podem constituir sistemas independentes ou sistemas fixados mecanicamente. Não devem ser aplicadas quando a temperatura do ar for inferior a 5 °C.

4.1.4. MEMBRANAS DE EPDM

As membranas de EPDM são constituídas por uma mistura de monómero de etileno-propileno-dieno com aditivos, como cargas, agentes de vulcanização, óleos e, em alguns casos, produtos que melhoram o comportamento das membranas à acção do fogo. O monómero de etileno-propileno-dieno representa cerca de 30% da massa total da mistura.

Estas membranas podem conter armaduras de poliéster (mais vulgar) ou poliamida, ou não ter qualquer armadura.

Utilizam-se o talco e a mica para evitar a aderência das superfícies das membranas durante o enrolamento.

As vantagens deste sistema de impermeabilização são o seu peso reduzido, devido à aplicação em camada única e às reduzidas espessuras das membranas, e as dimensões significativas das membranas, que por vezes dispensam a realização de juntas de sobreposição.

A espessura das membranas é cerca de 1,5 mm e a massa por unidade de superfície varia entre 1,2 e 2,7 kg/m². As membranas de EPDM podem ter comprimentos entre 15,25 e 38 m, e larguras que variam entre os 1,78 m e os 15,2 m.

A tensão de rotura das membranas novas não armadas, na direcção longitudinal e transversal varia entre 7,8 e 12,8 N/mm². Esta característica é influenciada pelo envelhecimento ao calor (84 dias a 80 °C) que aumenta, no máximo, 23,5% e pela acção da radiação ultravioleta (1000 horas de U.V.) que aumenta, no máximo, 12,8 %.

O alongamento na rotura das membranas novas não armadas é sensivelmente o mesmo nas duas direcções, variando entre 397 e 510%. O alongamento sofre reduções que podem chegar aos 46,5%, após envelhecimento ao calor, e 8,9%, após exposição à radiação ultravioleta.

A resistência ao rasgamento para membranas novas não armadas é cerca de 11 N/mm, na direcção longitudinal, e cerca de 12 N/mm, na direcção transversal, podendo estes valores baixar até 67% por efeito do calor.

Verifica-se ainda que a acção do calor provoca maiores deformações na direcção longitudinal, para membranas armadas ou não armadas.

4.1.4.1. Juntas de sobreposição das membranas de EPDM

A generalidade das membranas de EPDM é aplicada em sistemas de camada única, pelo que se devem ter especiais cuidados em garantir a qualidade das juntas de sobreposição.

Os produtos utilizados na ligação de membrana são colas de contacto, colas termo-fusíveis, colas aquosas, produtos autocolantes e bandas adesivas. Estes dois últimos produtos, comparativamente às colas, melhoram em geral a resistência das ligações das membranas. As colas são aplicadas a frio.

As colas de contacto são as mais utilizadas por serem de baixo custo, fácil aplicação, secagem rápida e de um único componente. No entanto, os seus solventes são inflamáveis e necessitam de ser aplicadas nas duas superfícies a colar.

As colas termo-fusíveis e as colas aquosas são normalmente usadas para ligação das membranas em fábrica. As aquosas têm a desvantagem de serem de secagem lenta.

Os produtos autocolantes são aplicados ao longo de um dos bordos da membrana durante o processo de fabrico e as bandas adesivas são aplicadas em obra, geralmente com colas, na mesma zona da membrana. Estes produtos não contêm solventes que necessitem de ser evaporados, ou seja, não necessitam de secagem. A ligação de membranas com produtos autocolantes é feita por soldadura com ar quente.

Quando os produtos de ligação são colas, a largura da junta de sobreposição toma valores entre os 75 e os 150 mm. Se forem utilizadas bandas adesivas, este valor pode chegar aos 175 mm.

O bordo superior da membrana deve ser rematado com um mástique com base em etileno-propileno-dieno.

A resistência à tracção-corte das juntas de sobreposição de membranas novas varia entre 5,5 e 9,2 N/mm e a resistência média à pelagem varia entre 0,84 e 2,94 N/mm.

4.1.4.2. Campo de aplicação das membranas de EPDM

As membranas de EPDM podem ser utilizadas em sistemas aderentes, independentes ou fixados mecanicamente ao suporte, essencialmente em coberturas de acessibilidade limitada a trabalhos de manutenção e reparação, com pendentes superiores a 1,5%.

Nos sistemas aderentes, a ligação da membrana ao suporte é feita através da utilização de cola, que é deixada a secar até adquirir uma certa pegajosidade, sendo depois colocada a membrana e apertada contra o suporte. A cola deve ser aplicada quando a temperatura for superior a 5 °C para permitir uma secagem rápida.

Os sistemas independentes necessitam de uma protecção pesada para se protegerem das sucções do vento.

Os sistemas de fixação mecânica podem ser de três tipos. No primeiro as peças de fixação são colocadas próximo de um dos bordos da membrana e recobertas por uma faixa de membrana adjacente cuja largura de sobreposição não deve ser inferior a 150 mm. No segundo as peças de fixação são aplicadas fora da junta de sobreposição e recobertas por bandas coladas com cola de contacto. Finalmente, a fixação mecânica das membranas de EPDM pode ser feita pela colagem de três peças, sendo a primeira, a peça da base, fixa ao suporte com parafusos e sobre ela é colocada a membrana. A segunda peça é colocada sobre a primeira e garante com esta a fixação da membrana. A terceira peça é o recobrimento do conjunto. Neste último processo de fixação mecânica não ocorre perfuração da

membrana. Para os dois primeiros processos o afastamento das fixações não deve ultrapassar cerca de 0,3 m.

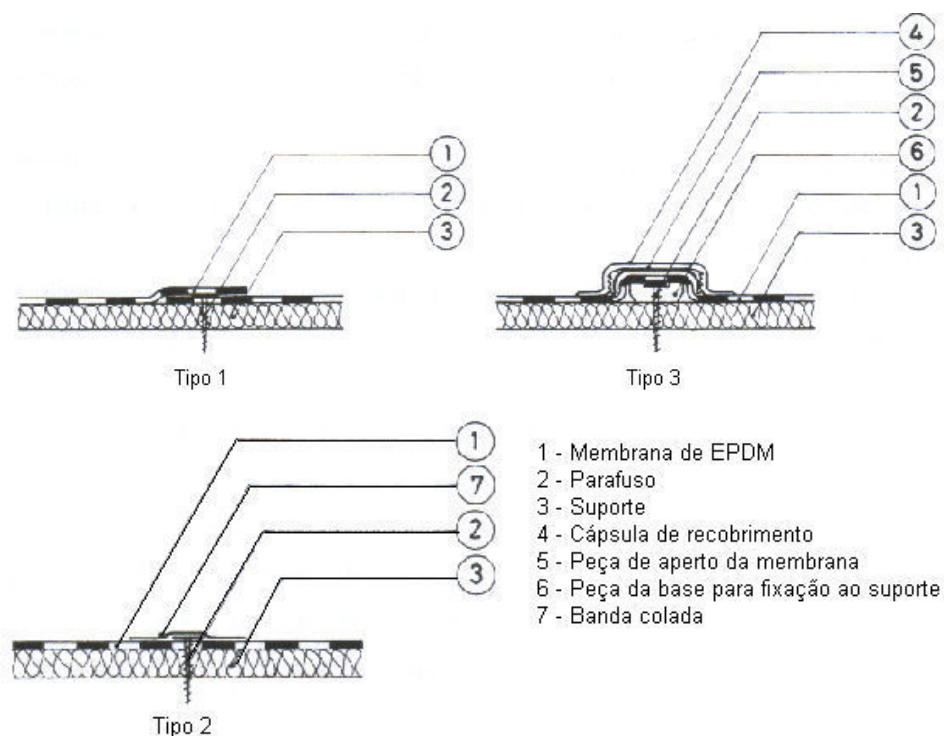


Figura 4.6 – Tipos de sistemas de fixação mecânica [7].

Os suportes constituídos por placas de poliestireno ou de perlite expandidos são incompatíveis quimicamente com os solventes existentes nas colas. As membranas de EPDM também são incompatíveis com produtos betuminosos ou óleos. Nestes casos deve interpor-se, por exemplo, um feltro de poliéster de 150 g/m^2 entre a membrana e o suporte.

Os remates das membranas de EPDM com os elementos emergentes são feitos por colagem de bandas com largura de junta de sobreposição entre 75 e 150 mm e aplicação de rufo de protecção.

4.1.5. MEMBRANAS DE BORRACHA BUTÍLICA

A mistura de borracha butílica é obtida por copolimerização do isobutileno por acção do propeno (1 a 2%) que facilita a vulcanização, podendo ainda incluir pequenas percentagens de monómero de etileno-propileno-dieno (EPDM), negro de fumo e aceleradores de vulcanização.

As membranas de borracha butílica podem ser armadas ou não, sendo mais utilizadas as membranas não armadas. A armadura melhora a estabilidade dimensional e aumenta a resistência ao rasgamento e à acção de cargas pontuais.

Este sistema de impermeabilização apresenta peças de grande dimensão que permitem reduzir as juntas de sobreposição e, consequentemente, os riscos de infiltração de água.

As membranas são comercializadas com espessuras correntes de 1,5 e 2 mm. Os rolos de membrana têm 15 m de largura e 60 m de comprimento [13].

A tensão de rotura e o alongamento na rotura tomam valores de 6,7 a 9,0 MPa e 400 a 814%, respectivamente.

A estabilidade dimensional das membranas ao calor varia entre -0,89 e -0,29%.

4.1.5.1. Juntas de sobreposição das membranas de borracha butílica

Os produtos utilizados na ligação das membranas de borracha butílica são as bandas adesivas e as colas. As bandas adesivas têm em geral 1,0 mm de espessura e 100 mm de largura e as suas superfícies vêm recobertas com folhas de polietileno para evitar a aderência das membranas quando enroladas. As colas com base em solventes são normalmente aplicadas conjuntamente com as bandas adesivas.

A resistência à tracção-corte para membranas novas de borracha butílica é cerca de 7,4 N/mm.

4.1.5.2. Campo de aplicação das membranas de borracha butílica

As membranas de borracha butílica podem ser aplicadas em sistemas aderentes, semi-aderentes, independentes e fixados mecanicamente, geralmente compostos por uma única camada.

Nos sistemas aderentes e semi-aderentes utilizam-se como produto de ligação ao suporte colas, com base em resinas acrílicas ou betume, que podem ser aplicadas a frio ou a quente.

4.1.6. MEMBRANAS DE POLI-ISOBUTILENO (PIB)

A mistura das membranas de PIB é constituída por poli-isobutileno com peso molecular elevado, cargas minerais e aditivos, como o negro de fumo.

Embora possam existir membranas com armadura de poliéster na sua superfície inferior, a maioria das membranas não são armadas.

As membranas podem ter espessuras de 1,5 a 2,5 mm, larguras 1,05 a 1,30 m para impermeabilização em zona corrente e 0,35 a 0,65 m para execução de remates e comprimentos de 10 ou 15 m. A massa por unidade de superfície toma valores entre 2,36 e 3,28 kg/m².

A tensão de rotura é praticamente a mesma nas duas direcções, variando entre 3,2 e 4,5 N/mm².

O alongamento na rotura, em membranas não armadas, é superior na direcção transversal, com valores entre 580 e 599%, enquanto que na direcção longitudinal registam-se valores entre 400 e 520%.

A acção da temperatura não provoca variações de dimensões em ambas as direcções superiores a 1%.

4.1.6.1. Juntas de sobreposição das membranas de poli-isobutileno

Os produtos utilizados na execução das juntas de sobreposição são as bandas autocolantes e as colas.

As bandas autocolantes têm normalmente espessura de 1 mm e largura de 50 mm e são colocadas em fábrica num dos bordos da membrana e protegidas com papel siliconado. No caso da membrana ter armadura, esta deve ser interrompida na zona da banda autocolante.

As colas mais utilizadas têm como base uma mistura de hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos e clorados.

4.1.6.2. Campo de aplicação das membranas de poli-isobutileno

As membranas de poli-isobutileno podem ser aplicadas em sistemas independentes, semi-aderentes ou aderentes, em coberturas de acessibilidade limitada a trabalhos de manutenção e reparação.

A ligação das membranas ao suporte pode ser feita com colas, com base em borracha ou diluente ou com base numa resina acrílica em dispersão aquosa, ou betumes insuflados a quente.

Nos sistemas aderentes e semi-aderentes, as membranas podem ser aplicadas sem qualquer protecção, enquanto que nos sistemas independentes é necessário aplicar uma protecção pesada. Podem ainda ser aplicadas protecções leves com base em pinturas da mesma natureza das membranas de PIB.

As membranas só devem ser aplicadas quando a temperatura for superior a 5 °C.

Deve ter-se em conta que as pinturas com base em solventes, óleos, petróleo e parafinas são incompatíveis quimicamente com as membranas de PIB.

Os remates com elementos emergentes da cobertura são feitos com membranas de PIB em aderência total, podendo ser aplicadas fixações mecânicas se a altura do remate for superior a cerca de 0,40 m.

4.1.7. MEMBRANAS DE POLIETILENO CLORADO (CPE)

A mistura de polietileno clorado é constituída por uma resina de polietileno de alta densidade e de aditivos, como estabilizantes e anti-oxidantes.

As membranas de CPE podem ser armadas ou não, englobando, no primeiro caso, um feltro de poliéster não tecido. Esta armadura pode ainda ser utilizada na face inferior da membrana em suportes irregulares, com rugosidade ou aspereza, para ajustar a membrana às irregularidades.

A espessura corrente das membranas é cerca de 1,0 mm, com comprimentos entre os 15 e os 25 m e larguras entre 1,0 e 2,05 m.

As membranas de CPE armadas apresentam valores de resistência à tracção e módulo de elasticidade mais baixos na direcção transversal, tanto em membranas novas como em membranas envelhecidas ao calor, sob radiações ultravioletas ou sob a acção de SO₂. Para este último envelhecimento verificam-se valores de resistência à tracção, em média 20 N/mm², e módulo de elasticidade de 107 e 60,8 N/mm², na direcção longitudinal e transversal, respectivamente.

O valor médio da resistência ao rasgamento de membranas de CPE armadas é de 220 N.

Para temperaturas acima de -25 °C não ocorre fissuração das membranas.

4.1.7.1. Juntas de sobreposição das membranas de polietileno clorado

As juntas de sobreposição das membranas de CPE podem ser realizadas por soldadura a ar quente ou utilizando produtos com base em solventes.

Na soldadura a quente, e no caso do suporte ser poliestireno expandido, deve ter-se o cuidado de não aquecer demasiado o suporte.

Em ambos os processos de ligação a largura da junta colada é cerca 40 a 50 mm.

4.1.7.2. Campo de aplicação das membranas de polietileno clorado

As membranas de CPE integram sistemas fixados mecanicamente ao suporte.

Não devem ser aplicadas em tempo húmido ou quando a temperatura for inferior a 0 °C.

4.2. O SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO

O sistema de revestimento cerâmico aplicado em coberturas em terraço é constituído pelos ladrilhos cerâmicos, produto de colagem e produto de preenchimento das juntas entre ladrilhos.



Figura 4.7 – Revestimento cerâmico em cobertura plana.

4.2.1. LADRILHOS CERÂMICOS

Os ladrilhos cerâmicos são placas finas fabricadas a partir de uma mistura de várias matérias-primas argilosas, como a argila e o caulino e fundentes como a areia e o feldspato, entre outros, conformadas por extrusão ou por prensagem a seco, mas podendo ser moldadas por outros processos, sendo posteriormente secas e cozidas. Os ladrilhos podem ser vidrados (UL) ou não vidrados (UGL), são incombustíveis e não são afectados pela luz. Poderão ter acabamento natural, polido ou vidrado, estes últimos necessitam de matérias-primas tais como vidros e corantes e são normalmente decorados [16, 17 e 18].

A norma NP EN 14411 [16] classifica os ladrilhos cerâmicos em função do processo de fabrico e da percentagem de absorção de água (E).

Consideram-se três processos de fabrico de ladrilhos cerâmicos, sendo os dois primeiros os mais comuns:

- Tipo A – Conformação por extrusão;
- Tipo B – Conformação por prensagem a seco;
- Tipo C – Outros processos de conformação (moldagem manual).

O processo de fabrico de ladrilhos cerâmicos engloba as fases de preparação das matérias-primas, conformação, secagem e cozedura.

A fase de preparação consiste no armazenamento e dosagem das matérias-primas a granel, seguindo-se a passagem das argilas, fundentes e inertes (areias) por um processo de mistura e redução da granulometria por moagem ou laminagem.

Na preparação das matérias-primas para a conformação por prensagem os materiais fundentes são moídos em moinhos rotativos horizontais, reduzindo-se a granulometria dos materiais até se atingir o grau de finura necessário. As argilas são diluídas em tanques, peneiradas e misturadas ao material moído, obtendo-se a barbotina. Depois de homogeneizada a barbotina, evapora-se a sua água em atomizadores e o pó resultante, pó atomizado, é recolhido e armazenado em silos.

Na conformação por prensagem, o pó atomizado é prensado em prensas hidráulicas isostáticas com cunhos adequados às dimensões, formatos e efeitos desejados.

As matérias-primas utilizadas na conformação por extrusão passam por um laminador onde ocorre o processo de mistura e redução da granulometria.

No processo de conformação por extrusão, a preparação da pasta cerâmica pode ser feita por via seca ou por via semi-húmida. Neste último processo, as matérias-primas são diluídas em água.

No processo de extrusão por via seca, o pó resultante é amassado e humedecido formando uma pasta que é extrudida em feiras com a espessura desejada.

No processo de extrusão por via húmida, é adicionada água ao pó resultante de forma a garantir uma plasticidade adequada. A pasta que se obtém é filtrada num filtro de prensa, sendo depois extrudida em feiras.

Segue-se a fase de secagem na qual os ladrilhos passam por secadores a temperaturas entre os 100 e os 150 °C.

Poderá ocorrer a vidragem entre a secagem e a cozedura. Nesta última fase, os produtos são cozidos em fornos contínuos de rolos a temperaturas acima dos 1100 °C, durante 45 a 90 minutos.

Seguidamente, os ladrilhos passam para uma linha de escolha onde são classificados quanto à existência de defeitos visuais ou dimensionais. Segundo a norma NP EN 14411 [16], os ladrilhos de 1ª escolha são os que não apresentam defeitos visíveis e os de 2ª escolha são os que apresentam pequenos defeitos que não prejudicam a aplicação e o desempenho.

Por último, os produtos são escolhidos, separados e embalados.

Os ladrilhos podem ser classificados em função da percentagem de absorção de água (E) nos seguintes grupos:

- Grupo I: $E \leq 3 \%$;
- Grupo IIa: $3\% < E \leq 6\%$;
- Grupo IIb: $6\% < E \leq 10\%$;
- Grupo III: $E > 10\%$.

No Quadro 4.1 apresentam-se exemplos de ladrilhos cerâmicos de acordo com o processo de fabrico e com a percentagem de absorção de água.

De entre os diferentes grupos apresentados, são aconselhados para revestimentos exteriores apenas os ladrilhos com absorção de água (E) não superior a 3%, ou seja, ladrilhos dos grupos AI, BIa e BIb. Estes ladrilhos são pouco porosos e apresentam melhores características de resistência mecânica e de resistência à abrasão.

Quadro 4.1 – Classificação dos ladrilhos cerâmicos segundo a norma NP EN 14411 [16 e 17].

Processo de fabrico	Grupo AI E ≤ 3%		Grupo AIIa 3% < E ≤ 6%	Grupo AIIb 6% < E ≤ 10%	Grupo AIII E > 10%
A - Extrudido	Grés Extrudido		Grés Extrudido	Tijoleira Rústica	Tijoleira Rústica
			Klinker	Terracota	
			Tijoleira Rústica		
Processo de fabrico	Grupo BIa E ≤ 0,5%	Grupo BIb 0,5% < E ≤ 3%	Grupo BIIa 3% < E ≤ 6%	Grupo BIIb 6% < E ≤ 10%	Grupo BIII E > 10%
B - Prensado a seco	Pavimento em Grés	Pavimento em Grés	Pavimento de Monocozedura	Revestimento de Monocozedura	Azulejo (Faiança)
	Klinker	Klinker			
	Porcelânico	Pavimento de Bicozedura			
Processo de fabrico	Grupo CI E ≤ 3%		Grupo CIIa 3% < E ≤ 6%	Grupo CIIb 6% < E ≤ 10%	Grupo CIII E > 10%
C - Outros processos			Pavimento Rústico	Pavimento Rústico	Azulejo
					Pavimento Rústico

Os ladrilhos prensados apresentam, normalmente, melhores características de resistência ao desgaste e resistência mecânica [17].

Consoante a utilização, existem características específicas dos ladrilhos que deverão ser determinadas. No caso das aplicações exteriores são as seguintes:

- Resistência ao gelo;
- Expansão por humidade;
- Dilatação térmica linear.

4.2.2. ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

A fixação dos ladrilhos cerâmicos ao suporte é feita, normalmente, por colagem.

Os materiais para fixação por colagem são:

- Argamassa tradicional: com traço típico 1:3 ou 1:4 (cimento e areia);
- Cimento-cola (C): mistura de ligantes hidráulicos, inertes e outros aditivos orgânicos;
- Colas em dispersão aquosa (D): mistura de agentes ligantes orgânicos na forma aquosa constituída por polímeros, aditivos orgânicos e cargas minerais. Estas colas não podem ser aplicadas no exterior porque não são resistentes à água e ao gelo;
- Colas de resinas de reacção (R): mistura de resinas sintéticas, cargas minerais e aditivos orgânicos (endurecimento por reacção química).

A argamassa é utilizada em camada espessa (5 a 20 mm) e tem acção complementar de regularização, enquanto que o cimento-cola e as colas são aplicados em camada finas (2 a 5 mm).

A norma NP EN 12004 [19] apresenta uma classificação para as colas (C, D e R), de acordo com as características fundamentais e opcionais (Quadro 4.2).

Quadro 4.2 – Classes de colas segundo a NP EN 12004 [19].

Características Fundamentais	1 - Normal
	2 - Melhorada
Características Opcionais	F - Presa rápida
	T - Deslizamento reduzido
	E - Tempo de abertura alongado
	S1 - Deformável
	S2 - Altamente deformável

Nos pavimentos exteriores, quando a área dos ladrilhos for superior a 2000 cm² não devem ser usadas colas ou cimentos-cola. Se, pelo contrário, a área for inferior a 2000 cm² devem ser aplicados cimentos-cola da classe C2 ou C2Sn. A classe C2 diz respeito a cimentos-cola com elevada capacidade de aderência, adequados para fixações mais exigentes como a colagem de ladrilhos cerâmicos de maior formato, de menor porosidade e aplicados no exterior.

A tensão de aderência à tracção de cimentos-cola da classe C1 é superior a 0,5 N/mm², enquanto que para os cimentos-cola da classe C2 esse valor é superior a 1,0 N/mm².

4.2.3. JUNTAS

As coberturas planas apresentam pequenos movimentos, essencialmente devido a dilatações térmicas e à acção de cargas concentradas ou distribuídas, pelo que se deve prever a existência de juntas de forma a garantir que esses movimentos não comprometem a colagem dos ladrilhos cerâmicos. As juntas impedem ainda a entrada de água para o tardo dos ladrilhos.

Existem juntas de assentamento e de construção. As primeiras são as juntas entre ladrilhos e devem ser definidas pelo fabricante em função da deformabilidade dos ladrilhos face às solicitações a que vão estar sujeitos, principalmente as de carácter higrotérmico. As juntas de construção dividem-se em estruturais, periféricas e intermédias e destinam-se a limitar o risco de levantamento e rotura provocados por movimentos estruturais.

Quadro 4.3 – Tipos de juntas de construção [17].

Tipos de juntas de construção	Dimensões	Posição
Estruturais	Largura $\geq$ junta do suporte	Imediatamente sobre e na continuação das juntas estruturais do suporte
	Profundidade adequada para garantir o prolongamento da junta de suporte	
Periféricas	Largura mínima de 5 mm	Nos limites da superfície revestida
	Profundidade adequada para penetrar a totalidade da espessura do reboco de suporte	
Intermédias	Largura mínima de 5 mm	As áreas mínimas entre juntas e/ou a distância entre juntas devem ser especificadas
	Profundidade adequada para penetrar a totalidade da espessura do reboco de suporte	

Nos pavimentos exteriores recomendam-se espessuras mínimas de juntas entre ladrilhos de 6 mm para ladrilhos de terracota ou extrudidos e de 5 mm para os restantes materiais.

As argamassas utilizadas para juntas de assentamento podem ser à base de cimento (CG) ou à base de resinas de reacção (RG). Para o preenchimento das juntas de construção devem ser utilizados mástiques.

Entre a impermeabilização e a camada de protecção deve ser prevista uma camada de dessolidarização (areia, folha de polietileno ou tela betuminosa). A camada de protecção deve ter juntas de fraccionamento no máximo a cada 4 m, formando superfícies entre juntas com área não superior a 10 m². A espessura das juntas é de 10 a 20 mm.

4.2.4. SUPORTE

Nas coberturas em terraço tradicionais é aplicada uma camada de base sobre a camada de impermeabilização, servindo de protecção a esta, constituída por betão ou argamassa, normalmente armada, com 4 cm de espessura. Esta camada evita problemas devido à pequena resistência ao punçoamento da camada de isolamento térmico.

Sobre os suportes não nivelados coloca-se uma camada de argamassa de nivelamento podendo ser interposta uma camada de separação (folha de polietileno ou camada de areia), no caso de se utilizar uma argamassa de colagem.

O suporte deve secar durante quatro a seis semanas, em função da espessura e das condições ambientais.

4.2.5. APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO CERÂMICO

Antes de se iniciar o assentamento, a superfície do suporte e o tardo dos ladrilhos devem estar limpos, sem produtos gordurosos ou pó. O suporte deve apresentar planeza e regularidade superficial.

A cola deve ser adequada ao uso previsto. Esta começa por ser espalhada no suporte com o lado liso da talocha e comprimida num ângulo de 60°, formando uma camada uniforme. Com o lado denteado da talocha fazem-se cordões na cola. Durante a colocação dos ladrilhos deve ser exercida pressão para provocar o abatimento dos cordões de cola, formando uma camada uniforme, e garantindo o contacto total da cola com os ladrilhos.



Figura 4.8 – Assentamento de ladrilhos cerâmicos.

Em ladrilhos de baixa porosidade, como os utilizados no exterior, deve optar-se pela colagem dupla, ou seja, aplicação de cola no suporte e no tardo dos ladrilhos. A colagem dupla permite aumentar a área de contacto com os ladrilhos e absorve deficiências de planeza do suporte.

Segue-se o preenchimento das juntas entre ladrilhos com uma espátula ou borracha dura. O produto de colagem deve preencher completamente as juntas, em profundidade e em largura. Podem ser utilizadas cruzetas para garantir a largura das juntas.

Por último, é feita a limpeza com uma esponja ou pano seco, para eliminar os resíduos de argamassas ou outros materiais usados no assentamento.

4.3. LADRILHOS HIDRÁULICOS

A norma EN 13748-2 [20] define os ladrilhos hidráulicos como “elementos convenientemente compactados com forma e espessura uniformes, formados por uma ou duas camadas. Podem ser produzidos individualmente por compressão e/ou vibração ou moldados em camadas de cimento com agregados minerais por processos de vibração e/ou compressão, antes de serem cortados com as dimensões pretendidas.”

Os ladrilhos hidráulicos são peças moldadas constituídas por uma argamassa de cimento Portland e areia em uma ou duas camadas. Normalmente, são constituídos pela camada de desgaste (superficial) e pela camada de tardo (suporte). A primeira é constituída por argamassa de cimento e pó de sílica ou de mármore, de traço 1:1 ou 1:2, podendo incorporar pigmentos inorgânicos, como o óxido de ferro. A segunda é constituída por uma argamassa de cimento e areia, de traço 1:3 ou 1:4.

Depois de executadas as duas camadas, os ladrilhos são prensados seguindo-se a desmoldagem ao fim de 48 horas. Os ladrilhos ficam ao ar durante 48 horas, sendo depois mergulhados em água durante 7 dias ou metidos em câmaras de cura durante 28 dias.

Os ladrilhos hidráulicos apresentam elevada resistência ao desgaste e às intempéries.

Estes ladrilhos são aplicados sobre argamassa tradicional de forma semelhante à descrita para os ladrilhos cerâmicos.



Figura 4.9 – Exemplo de ladrilhos hidráulicos [21].

A norma EN 13748-2 [20] aponta como características mais relevantes para os ladrilhos hidráulicos a carga de ruptura e a resistência às condições climáticas.

Quadro 4.4 – Classes de carga de ruptura [20].

Classe	Marcação	Resistência média à flexão (MPa)	Resistência mínima à flexão (MPa)
1	ST	3,5	2,8
2	TT	4,0	3,2
3	UT	5,0	4,0

Quadro 4.5 – Classes de resistência às condições climáticas [20].

Classe	Marcação	Absorção de água (%)	Perda de massa após teste de gelo/degelo (kg/m ²)
1	A	Sem desempenho avaliado	Sem desempenho avaliado
2	B	≤ 6, em média	Sem desempenho avaliado
3	D	Sem desempenho avaliado	≤ 1, em média, sem valores individuais > 1,5

4.4. LAJETAS PRÉ-FABRICADAS DE BETÃO

As lajetas pré-fabricadas de betão constituem uma solução de protecção pesada rígida de coberturas planas. São assentes sobre apoios pontuais de betão, plástico rígido ou aço, ou sobre uma camada de gravilha aplicada sobre uma camada de dessolidarização.



Figura 4.10 – Lajetas pré-fabricadas em cobertura plana [22].

Os pavimentos sobreelevados têm como vantagens a facilidade de escoamento das águas, regulação da altura do pavimento, possibilidade de remoção das lajetas para reparação da impermeabilização, protecção da membrana e caixa-de-ar que permite melhor isolamento térmico.

Os apoios pontuais devem ter uma altura mínima de 20 mm e dimensões tais que a pressão de contacto sobre o isolamento térmico seja inferior à resistência à compressão do mesmo, para uma deformação por fluência inferior a 2% [23]. A zona de colocação de cada apoio deve ser reforçada com uma banda de membrana de dimensões superiores às do apoio.



Figura 4.11 – Apoios pontuais para lajetas pré-fabricadas [24].

Normalmente, aplicam-se lajetas com espessura superior a 40 mm. As juntas entre lajetas devem ter espessuras de 2 a 5 mm abertas, para permitir dilatações das lajetas.

Se as lajetas estiverem assentes sobre gravilha esta deve apresentar-se plana, com uma espessura entre 20 mm e 50 mm, aplicada sobre um feltro não tecido com massa unitária superior a 150 g/m².

As principais exigências a ter em conta na aplicação de lajetas dizem respeito à sua resistência mecânica de forma a suportarem cargas pontuais e/ou distribuídas, sem ruptura.

A norma EN 1339 [25] apresenta uma classificação para as lajetas pré-fabricadas de betão segundo a carga de ruptura, apresentada no Quadro 4.6. Esta norma define ainda as classes de resistência às condições climáticas (Quadro 4.7) e as classes de resistência à abrasão (Quadro 4.8).

Quadro 4.6 – Classes de carga de ruptura [25].

Classe	Marcação	Resistência média à flexão (MPa)	Resistência mínima à flexão (MPa)
1	S	3,5	2,8
2	T	4,0	3,2
3	U	5,0	4,0

Quadro 4.7 – Classes de resistência às condições climáticas [25].

Classe	Marcação	Absorção de água (%)	Perda de massa após teste de gelo/degelo (kg/m ²)
1	A	Sem desempenho avaliado	Sem desempenho avaliado
2	B	≤ 6, em média	Sem desempenho avaliado
3	D	Sem desempenho avaliado	≤ 1, em média, sem valores individuais > 1,5

Quadro 4.8 – Classes de resistência à abrasão [25].

Classe	Marcação	Requisito	
		Medido de acordo com o ensaio descrito no anexo G da norma EN 1339	Medido de acordo com o ensaio descrito no anexo H da norma EN 1339
1	F	Sem desempenho avaliado	Sem desempenho avaliado
2	G	≤ 26 mm	≤ 26000 mm ³ / 5000 mm ²
3	H	≤ 23 mm	≤ 20000 mm ³ / 5000 mm ²
4	I	≤ 20 mm	≤ 18000 mm ³ / 5000 mm ²

Segundo a norma NP EN 12825 [26], cada apoio deve suportar quatro vezes a carga admissível, ou seja, a carga de ruptura dividida pelo factor de segurança (2 ou 3).

4.5. ENQUADRAMENTO NORMATIVO

4.5.1. MEMBRANAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Os requisitos aplicáveis às membranas betuminosas estão definidos na norma NP EN 13707 – *Membranas de impermeabilização flexíveis – Membranas betuminosas armadas para impermeabilização de coberturas – Definições e características*: 2005 [27].

Para as membranas termoplásticas e elastoméricas os requisitos estão definidos na norma EN 13956 – *Membranas de impermeabilização flexíveis – Membranas de plástico e de borracha para impermeabilização de coberturas – Definições e características*: 2005 [28].

Quadro 4.9 – Características exigidas às membranas [27 e 28].

Características	Norma – membranas betuminosas	Norma - membranas termoplásticas e elastoméricas
Defeitos visíveis	NP EN 1850-1	EN 1850-2
Comprimento, largura e rectilinearidade	NP EN 1848-1	EN 1848-2
Massa por unidade de superfície	NP EN 1849-1	EN 1849-2
Estanquidade à água	NP EN 1928	NP EN 1928
Desempenho ao fogo exterior	EN 13501-5	EN 13501-5
Reacção ao fogo	EN 13501-1	EN 13501-1
Estanquidade à água após estiramento a baixa temperatura	EN 13897	EN 13897
Resistência das juntas à pelagem	NP EN 12316-1	EN 12316-2
Resistência das juntas ao corte	NP EN 12317-1	EN 12317-2
Factor de resistência à difusão do vapor de água (μ)	NP EN 1931	NP EN 1931
Propriedades em tracção	NP EN 12311-1	EN 12311-2
Resistência ao choque	NP EN 12691	NP EN 12691
Resistência ao punçoamento estático	NP EN 12730	NP EN 12730
Resistência ao rasgamento	NP EN 12310-1	EN 12310-2
Estabilidade dimensional	NP EN 1107-1	EN 1107-2
Estabilidade dimensional sob acção da variação cíclica da temperatura	NP EN 1108	-
Flexibilidade a baixa temperatura	NP EN 1109	-
Resistência ao escorrimento a elevada temperatura	NP EN 1110	-
Comportamento ao envelhecimento artificial de longa duração por exposição a temperatura elevada	NP EN 1296	NP EN 1296
Comportamento ao envelhecimento artificial de longa duração por exposição combinada da radiação UV, da temperatura e da água	NP EN 1297	NP EN 1297
Aderência do granulado	NP EN 12039	-
Resistência à penetração de raízes	NP EN 13948	NP EN 13948

4.5.2. LADRILHOS CERÂMICOS

Os requisitos aplicáveis aos ladrilhos cerâmicos estão definidos na norma NP EN 14411 – *Pavimentos e revestimentos cerâmicos – Definições, classificação, características e marcação*: 2008 [16].

A norma NP EN 14411 [16] remete para as normas de ensaio da série EN ISO 10545 a determinação das características dimensionais e das propriedades físicas e químicas dos ladrilhos cerâmicos, que se apresentam no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 – Características exigidas aos ladrilhos cerâmicos [16].

	Características	Norma de ensaio
Dimensões e qualidade da superfície	Comprimento e largura	EN ISO 10545-2
	Espessura	
	Rectilinearidade dos lados	
	Ortogonalidade	
	Planaridade (curvatura e empeno)	
	Qualidade de superfície	
Propriedades físicas	Absorção de água	EN ISO 10545-3
	Resistência à flexão	EN ISO 10545-4
	Módulo de ruptura	EN ISO 10545-4
	Resistência à abrasão profunda	EN ISO 10545-6
	Resistência à abrasão superficial	EN ISO 10545-7
	Dilatação térmica linear	EN ISO 10545-8
	Resistência ao choque térmico	EN ISO 10545-9
	Resistência à fendilhagem	EN ISO 10545-11
	Resistência ao gelo	EN ISO 10545-12
	Dilatação com a humidade	EN ISO 10545-10
	Pequenas variações de cor	EN ISO 10545-16
	Resistência ao impacto	EN ISO 10545-5
Propriedades químicas	Resistência às manchas	EN ISO 10545-14
	Resistência a ácidos e bases	EN ISO 10545-13
	Resistência a produtos químicos domésticos	EN ISO 10545-13

A norma NP EN 14411 [16] considera como características mais relevantes para aplicações em revestimentos exteriores, a resistência à flexão e a resistência ao gelo/degelo. É também referido que a resistência à abrasão de ladrilhos vidrados para pavimentos de coberturas em terraço deve ser das classes 3, 4 ou 5.

4.5.3. LADRILHOS HIDRÁULICOS

Os requisitos aplicáveis aos ladrilhos hidráulicos estão definidos na norma EN 13748-2 – *Ladrilhos hidráulicos. Parte 2: Ladrilhos hidráulicos para uso exterior*: 2004 [20].

4.5.4. LAJETAS PRÉ-FABRICADAS

Os requisitos aplicáveis às lajetas pré-fabricadas de betão estão definidos na norma EN 1339 – *Lajetas pré-fabricadas de betão – Requisitos e métodos de ensaio*: 2003 [25].

Os requisitos aplicáveis às lajetas pré-fabricadas sobreelevadas estão definidos na norma NP EN 12825 – *Pavimentos sobreelevados*: 2008 [26].

4.6. O PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO

4.6.1. MARCAÇÃO CE

A marcação CE dos produtos é a evidência dada pelo fabricante de que esses produtos estão conformes com as disposições das directivas comunitárias que lhes são aplicáveis, permitindo-lhes a sua livre circulação no Espaço Económico Europeu (EEE) [23].

Aos produtos com marcação CE deve ser-lhes permitida a livre circulação e utilização para o fim a que se destinem em todo o EEE.

As marcas de qualidade permitem evidenciar que o produto foi avaliado por uma entidade independente e que os resultados obtidos se enquadram dentro dos limites estabelecidos na norma de especificação do produto. Estas marcas são utilizadas juntamente com a marcação CE e permitem a distinção no mercado dos produtos de maior qualidade. A marcação CE, sendo obrigatória, mas não sendo uma marca de qualidade, impõe a satisfação dos produtos da construção face aos Requisitos Essenciais.

A declaração de conformidade CE deverá incluir:

- O nome e endereço do fabricante, ou do seu mandatário estabelecido na Comunidade;
- A descrição do produto (tipo, identificação, utilização...);
- As disposições com as quais o produto está conforme;
- As condições específicas para a utilização do produto;
- O número da declaração;
- O nome e endereço dos organismos aprovados, se for caso disso;
- O nome e cargo da pessoa autorizada a assinar a declaração em nome do fabricante, ou em nome do seu mandatário.

As bases de implementação da marcação CE nos produtos da construção encontram-se na Directiva dos Produtos da Construção (DPC) – Directiva 89/106/CEE [29].

Apresenta-se na Figura 4.12 um exemplo de declaração de conformidade CE.

4.6.2. DIRECTIVA DOS PRODUTOS DA CONSTRUÇÃO

A DPC, de conteúdo técnico baseado em referências normativas, estabelece que os produtos de construção devem estar aptos ao uso a que se destinam, apresentando características tais que as obras onde venham a ser incorporados satisfaçam os *Requisitos Essenciais* durante o período de vida para o qual foram concebidas.

Os *Requisitos Essenciais* são os seguintes:

- Resistência mecânica e estabilidade;
- Segurança contra incêndios;
- Higiene, saúde e ambiente;
- Segurança na utilização;
- Protecção contra o ruído;
- Economia de energia e retenção de calor.

DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE CE

CERÂMICA DO FUTURO, S.A.
Sede e Local de Produção:
Rua da Esperança
0000 - 000 CIDADE INDUSTRIAL
Telefone: +351 123 456789 Fax: +351 123 456790
Email: ceramica@competitiva.pt

Pavimento Cerâmico Prensado
Grupo: BI₁ (Norma EN 14411 Anexo G)
Aplicação: Exterior / Interior
Tipo: Pavimento Vidrado

 NP EN 14411: 2003
PRODUTO: Pavimentos Cerâmicos Prensados
UTILIZAÇÃO: Interior e/ou exterior

2003 CERÂMICA DO FUTURO, S.A.
Coimbra - Portugal

Características	Valores Declarados	Método de Ensaio
Reação ao Fogo	Classe A1 ₁	S/ Ensaio (Decisão 98/603/CE)
Força de Ruptura	> 1200 N	EN ISO 10545-4
Escorregamento (Coef. de atrito)	> R20	DIN 51130
Anti-derrapagem (Para circulação de veículos)	NPD	----
Resistência ao gelo	Cumprir	EN ISO 10545-12

Os produtos cumprem os requisitos essenciais da Directiva 89/109/CE.
Esta declaração é baseada no cumprimento integral da norma europeia de especificação de produto EN 14411.
O Responsável
Director Comercial
(Nome)

Figura 4.12 – Exemplo de declaração de conformidade CE [17].

O comprovativo da conformidade dos Requisitos Essenciais pode ser dado pelo fabricante ou por um organismo de certificação, em função do sistema de comprovação definido para determinado produto. Este comprovativo assegura que os resultados obtidos para o produto se enquadram dentro dos limites estabelecidos nas normas e especificações aplicáveis.

Os sistemas de comprovação das membranas betuminosas, termoplásticas e elastoméricas são o 1, 2+, 3 e 4. Para os ladrilhos cerâmicos e hidráulicos aplica-se o sistema de comprovação 4. As colas para ladrilhos estão sujeitas ao sistema 3. Nas lajetas pré-fabricadas de betão aplica-se o sistema de comprovação 4.

Quadro 4.11 – Sistemas de comprovação de conformidade [17].

Funções	Sistema					
	1+	1	2	2+	3	4
Controlo de produção em fábrica	F	F	F	F	F	F
Ensaio inicial do produto			F	F		F
Ensaio de amostras colhidas na fábrica de acordo com um programa de ensaios previamente estabelecido	F	F	F			
Ensaio inicial do produto	C/L	C/L				L
Inspecção inicial da fábrica e do controlo de produção da fábrica	C/I	C/I	C/I	C/I		
Fiscalização, apreciação e aprovação do controlo de produção da fábrica	C/I	C/I	C/I			
Ensaio de amostras colhidas na fábrica, no mercado ou na obra	C/I					

Organismo envolvido: F - Fabricante L - Laboratório I - Org. Inspecção C - Org. de Certificação

Constituem ainda instrumentos para a aplicação da DPC as normas europeias harmonizadas, as aprovações técnicas europeias e os organismos notificados.

As primeiras são normas europeias (EN) que especificam as características dos produtos com marcação CE. Possuem uma parte voluntária com as características e ensaios dos produtos e uma parte harmonizada com a DPC, Anexo ZA, com indicação das características mínimas e obrigatória para a marcação CE dos produtos.

A aprovação técnica europeia consiste numa apreciação técnica favorável da aptidão ao uso de um produto, geralmente de carácter inovador.

Os organismos notificados são laboratórios e organismos de inspecção ou certificação que se encontram registados junto da Comissão Europeia, no âmbito da marcação CE. Estes organismos possuem funções distintas, em função do sistema de comprovação do produto e das competências dos organismos.

5

PATOLOGIAS

Segundo inspecções desenvolvidas por Gonçalves [30], 44% das patologias em coberturas planas dizem respeito a erros de aplicação e 38% devem-se a erros de concepção. Os defeitos dos materiais e a má utilização representam 10% e 8%, respectivamente.

5.1. PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Para garantir o comportamento aceitável dos revestimentos de impermeabilização de coberturas planas, em condições normais de utilização, é necessário uma intervenção adequada ao nível da concepção ou do projecto, da qualidade dos materiais utilizados, da aplicação em obra e da manutenção.

A falta de rigor numa ou em várias fases provoca, geralmente, o aparecimento de patologias nos revestimentos de impermeabilização. Estas podem ocorrer em superfície corrente ou nos pontos singulares da cobertura.

5.1.1. PATOLOGIAS EM SUPERFÍCIE CORRENTE

5.1.1.1. Fissuração do revestimento de impermeabilização

A principal causa da manifestação desta patologia está relacionada com as acções transmitidas pelas camadas adjacentes à impermeabilização. A inexistência de uma camada de dessolidarização entre o revestimento de impermeabilização e a camada de protecção ou a inexistência, na camada de protecção pesada rígida, de juntas de esquadramento favorecem a transmissão de acções para a impermeabilização, que poderá atingir o seu limite de deformação e, consequentemente, fissurar.

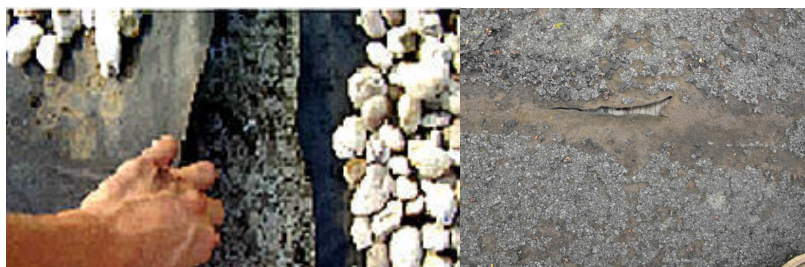


Figura 5.1 – Fissuração do revestimento de impermeabilização [31].

Em membranas com camada de protecção pesada formada por materiais soltos, a fissuração do revestimento resulta do deslocamento destes por acção do vento, ocorrendo o envelhecimento prematuro da membrana por exposição à radiação solar.

Nas membranas betuminosas autoprotégidas por granulado mineral, a fissuração dá-se devido ao desprendimento da protecção por acção do vento ou escoamento de água, ficando a superfície da membrana sujeita às acções atmosféricas. Nestas membranas, a elevação da temperatura provoca a perda progressiva das matérias voláteis e consequente endurecimento, retracção e fissuração.

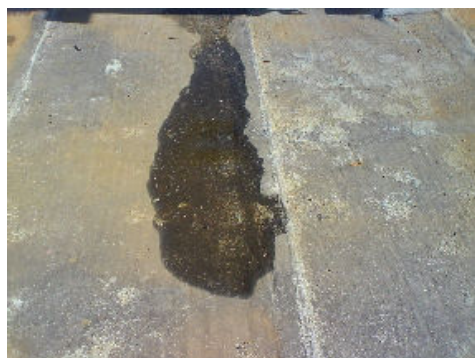


Figura 5.2 – Granulado mineral removido [31].

Em sistemas fixados mecanicamente, a acção de cargas elevadas em zonas próximas das fixações pode originar um deslocamento vertical da membrana incompatível com o encastramento imposto pela fixação, do qual resultam tensões na membrana superiores à sua resistência ao rasgamento.

A incompatibilidade química entre os materiais do revestimento e o suporte pode provocar a migração de componentes entre os dois materiais, reduzindo a capacidade de deformação das membranas.

Se o suporte for constituído por placas de material isolante, podem ocorrer deformações ou encurvamentos devidos a gradientes de temperatura entre as duas faces, devendo colocar-se uma camada de dessolidarização para evitar a fissuração do revestimento.

Em sistemas aderentes há maiores riscos de aparecimento de fissuras devido à maior facilidade de transmissão das deformações do suporte ao revestimento de impermeabilização.

5.1.1.2. Perfurações do revestimento de impermeabilização

A principal causa desta patologia é a falta de medidas de protecção adequadas do revestimento durante a realização de trabalhos sobre a cobertura, posteriormente à aplicação do mesmo.

A acção de cargas pontuais dinâmicas (curta duração), como a queda de objectos, e a acção de cargas pontuais estáticas (longa duração), como a colocação sobre o revestimento de suportes de instalações ou equipamentos, pode originar perfuração do revestimento.

Devem aplicar-se camadas de distribuição uniforme das cargas pontuais e caminhos de circulação em terraços não acessíveis.

Em sistemas fixados mecanicamente, pode ocorrer perfuração do revestimento de impermeabilização devido ao punçoamento da peça de fixação.



Figura 5.3 – Caminhos de circulação.



Figura 5.4 – Perfuração do revestimento de impermeabilização [31].

5.1.1.3. Arrancamento do revestimento de impermeabilização

As principais causas do arrancamento estão relacionadas com as forças de sucção devidas à acção do vento.

Em sistemas fixados mecanicamente ao suporte, o número insuficiente de fixações por unidade de superfície da cobertura e a incorrecta amarração ao suporte conduzem ao arrancamento da impermeabilização por acção do vento.

O arrastamento por acção do vento dos elementos soltos da protecção pesada resulta da insuficiente espessura da mesma, a que corresponde uma reduzida massa por unidade de superfície, ou das pequenas dimensões dos elementos soltos.

Em membranas com protecção leve, a má qualidade das soluções de ligação ao suporte é a causa do arrancamento da impermeabilização devido às sucções do vento.

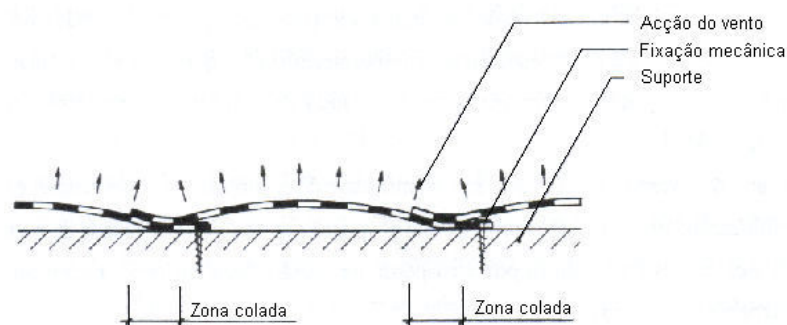


Figura 5.5 – Acção do vento sobre as juntas de sobreposição das membranas [32].

5.1.1.4. Presença prolongada de água

As principais causas da presença prolongada de água na superfície corrente da cobertura são a sua reduzida pendente e obstruções de caleiras ou de embocaduras das saídas de águas pluviais.



Figura 5.6 – Sujidade na zona da caleira.

Nas zonas em redor das embocaduras dos tubos de queda deve-se rebaixar a camada de forma para colocar uma camada complementar de remate e as peças de ligação com o tubo de queda.

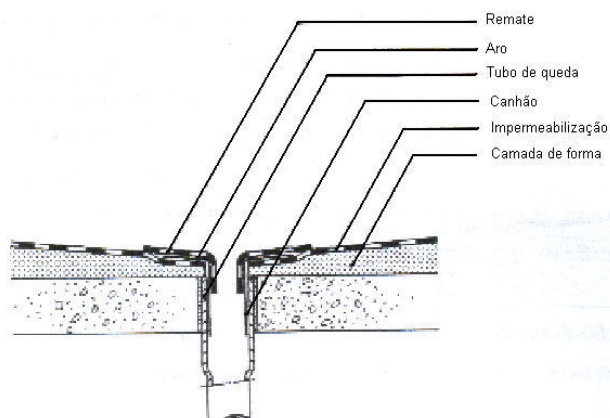


Figura 5.7 – Remate com embocadura de um tubo de queda [32].

5.1.1.5. Formação de pregas

A acção do calor é a principal causa da formação de pregas no revestimento de impermeabilização. Estas ocorrem devido à impossibilidade do revestimento acompanhar a velocidade de deformação da abertura e fecho das juntas ou fissuras do suporte.

Esta patologia verifica-se essencialmente quando o revestimento é constituído por materiais com coeficientes de dilatação térmica bastante distintos, como as membranas autoprotégidas com folha de alumínio. A capacidade de deformação elástica do betume quando traccionado pode ser ultrapassada, o qual ficará com uma deformação residual, formando uma prega quando regressar à posição inicial.

5.1.1.6. Empolamentos

Os empolamentos são sobrelevações resultantes da existência de vazios entre as camadas do sistema de impermeabilização ou entre este e o seu suporte. As principais causas dos empolamentos são a inexistência de colagem das camadas do sistema em algumas zonas, a falta de planeza ou

encurvamento do suporte quando constituído por painéis isolantes e a presença de materiais estranhos entre a impermeabilização e o suporte.



Figura 5.8 – Pregas na membrana de impermeabilização.

5.1.1.7. Descolamento das juntas de sobreposição

As principais causas desta patologia são a reduzida largura das juntas de sobreposição, a insuficiente quantidade do produto de colagem e a má execução da colagem ou da soldadura.



Figura 5.9 – Descolamento da junta de sobreposição das membranas [31].

A acção do vento pode provocar o descolamento das juntas de sobreposição, quando não exista protecção pesada e a quantidade de peças de fixação mecânica nas juntas for insuficiente. Nos sistemas fixados mecanicamente, o descolamento das juntas de sobreposição das membranas pode dever-se, também, à pelagem na zona de colagem ou soldadura das juntas.

A acção prolongada da chama ou do ar quente nas membranas afecta as armaduras mais sensíveis à acção do calor, como as de polietileno, resultando na perda de resistência e de deformação da armadura, facilitando o descolamento.

5.1.1.8. Desenvolvimento de vegetação

O aparecimento de vegetação sobre a impermeabilização resulta da falta de manutenção, que permite a acumulação de terra, da presença prolongada de água e da falta de exposição solar.

5.1.2. PATOLOGIAS EM PONTOS SINGULARES

5.1.2.1. Descolamento dos remates

O descolamento dos remates do revestimento de impermeabilização pode dever-se a irregularidades dos paramentos verticais, teor de humidade elevado dos mesmos e dificuldade de acesso aos paramentos.



Figura 5.10 – Descolamento do remate de impermeabilização [31].

A inadequação e insuficiente quantidade do produto de colagem e as condições atmosféricas desfavoráveis são outras causas do descolamento.

A aplicação de apoios de lajetas de sombreamento sobre a impermeabilização e o isolante de elevada deformabilidade provoca a deformação do isolante, que é acompanhada pela impermeabilização do paramento vertical, ficando sujeita a forças no seu plano, que poderão dar origem ao descolamento se forem superiores às forças resistentes de aderência.

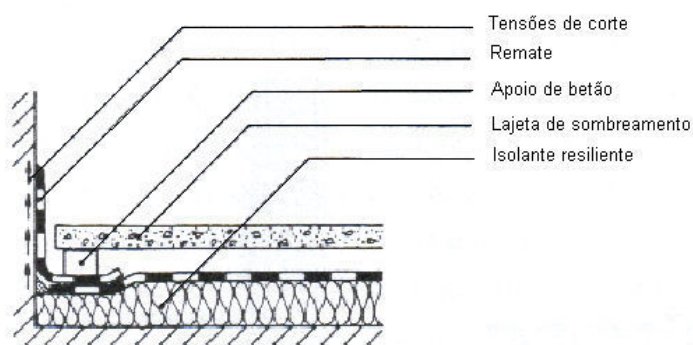


Figura 5.11 – Deformação do isolamento térmico [32].

A protecção do bordo superior dos remates com rufos e mástiques ou a introdução do remate no elemento emergente minimizam as consequências do descolamento.

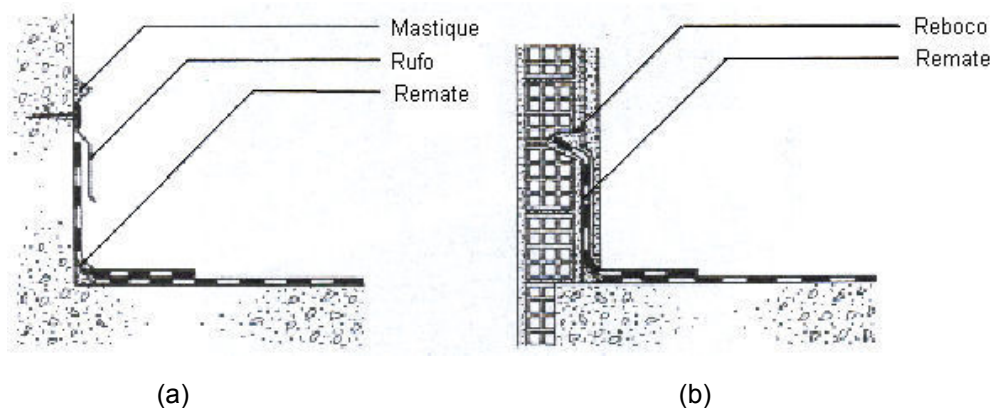


Figura 5.12 – Remates da impermeabilização com uma parede emergente: a) rufos de protecção b) introdução do remate na parede [32].

Em tubagens emergentes, se não for realizada a cintagem e o aperto do revestimento de impermeabilização, complementada com um vedante, e se não for colocado na base do remate um cordão flexível que permita a sua dessolidarização, pode ocorrer descolamento ou fissuração do remate.

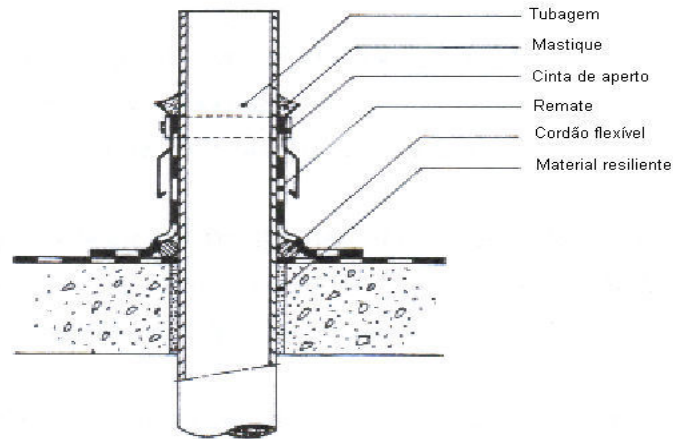


Figura 5.13 – Remate da impermeabilização com uma tubagem emergente [32].

5.1.2.2. Fluência ou deslizamento dos remates

A fluência ou deslizamento dos remates ocorre por acção da temperatura, sobretudo em revestimentos de base betuminosa com desenvolvimento em altura demasiado elevado e sem fixação mecânica complementar.

5.1.2.3. Insuficiente altura dos remates

A insuficiente altura dos remates, acima da última camada da cobertura, deve-se a erros de projecto ou de execução e pode provocar infiltrações de água nessas zonas. A altura mínima dos remates para resistir aos esforços que provocam o seu descolamento ou deslizamento é de 0,15 m.



Figura 5.14 – Insuficiente cota da soleira

5.1.2.4. Fissuração dos remates

Os movimentos de dilatação térmica da camada de protecção pesada rígida provocam esforços de corte na impermeabilização. A inexistência de uma junta de fraccionamento na camada de protecção a uma distância de cerca de 0,30 m do paramento faz com que seja excedida a capacidade resistente da impermeabilização a esforços de corte, provocando a fissuração.

Uma outra causa de fissuração é a inexistência de uma protecção vertical do remate.

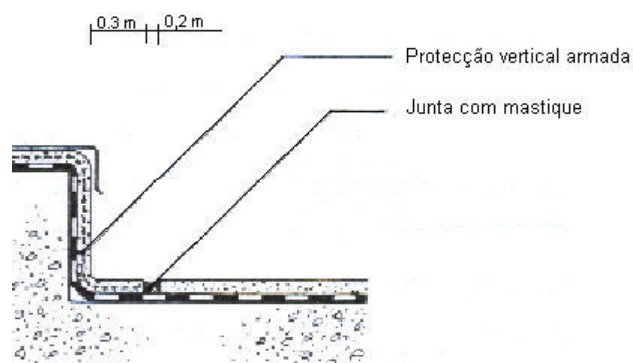


Figura 5.15 – Disposição da protecção pesada rígida junto ao elemento emergente [32].

O diferente comportamento térmico e mecânico da estrutura resistente (betão armado) e do elemento emergente (alvenaria de tijolo furado ou de blocos de betão) podem provocar deformações diferenciais entre eles que não sejam compatíveis com a deformabilidade do revestimento de impermeabilização.

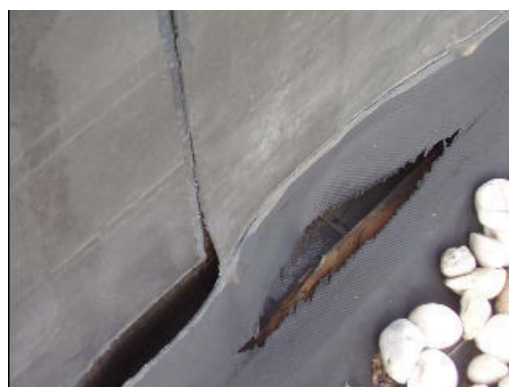


Figura 5.16 - Fissuração do remate com o elemento emergente [33].

5.1.2.5. Fissuração dos remates nas juntas de dilatação

A execução dos remates das juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura, estando esta sujeita às acções mecânicas decorrentes da circulação de pessoas, pode provocar fissuração. Para reduzir essas acções devem realizar-se remates sobreelevados.

A colocação de uma camada de protecção rígida sem interrupção sobre a junta de dilatação também pode provocar fissuração nos remates.

A falta de um empanque (fundo de junta) que sirva de suporte ao remate e a inexistência de uma faixa de dessolidarização de 0,15 m para cada lado da junta podem levar à fissuração.

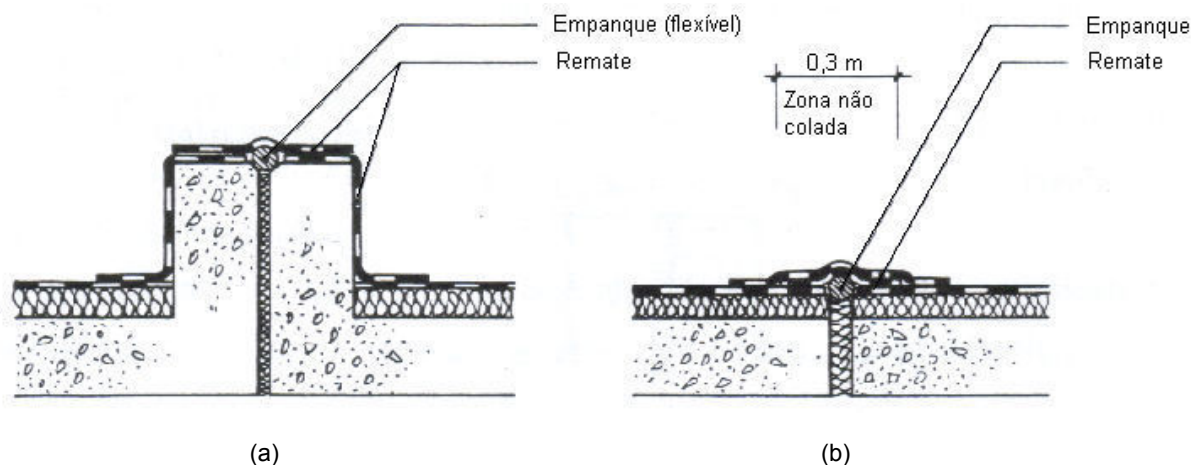


Figura 5.17 – Remates das juntas de dilatação: a) sobreelevado b) zona corrente [32].



Figura 5.18 – Remate em junta de dilatação

5.1.2.6. Inadequado capeamento do coroamento

O inadequado capeamento do coroamento das platibandas pode permitir a penetração da água para o tardo da impermeabilização e para as camadas subjacentes.

Devem utilizar-se capeamentos constituídos por membranas de impermeabilização autoprotégidas, chapas metálicas ou elementos de pedra ou de betão, com uma certa pendente.

5.2. PATOLOGIAS EM LADRILHOS CERÂMICOS

Os defeitos mais comuns dos ladrilhos cerâmicos colados ao suporte são o descolamento e a fissuração. Estes defeitos fazem-se sentir com maior intensidade nos ladrilhos aplicados no exterior devido às maiores solicitações climáticas e mecânicas a que estão sujeitos. As patologias indicadas resultam de deficiências de concepção ou de execução.

O descolamento e empolamento dos ladrilhos devem-se, essencialmente, à elevada expansão irreversível do revestimento cerâmico não compensada por juntas de assentamento e esquartelamento com largura e espaçamento compatíveis, à reduzida flexibilidade e resistência do produto de colagem, à fraca aderência da camada de colagem aos ladrilhos e ao suporte e à sujidade na superfície do suporte.



Figura 5.19 – Descolamento com empolamento de ladrilhos cerâmicos

As várias camadas de um sistema de revestimento, com coeficientes de dilatação distintos ($\alpha_{\text{betão}} \approx 10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $\alpha_{\text{arg massa / cimento-cola}} \approx 12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ e $\alpha_{\text{ladrilhos}} \approx 5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) estão sujeitas a diferentes solicitações, das quais se destacam as de carácter higrotérmico. Estas solicitações provocam movimentos diferenciais restringidos pelo funcionamento conjunto do sistema, originando tensões de compressão ou de tracção nos ladrilhos e nos produtos de preenchimento das suas juntas e tensões de corte e normais na cola e nas interfaces ladrilho-cola. As tensões de corte que se criam nas interfaces são apenas absorvidas com ligações de elevada resistência, razoável elasticidade e juntas.

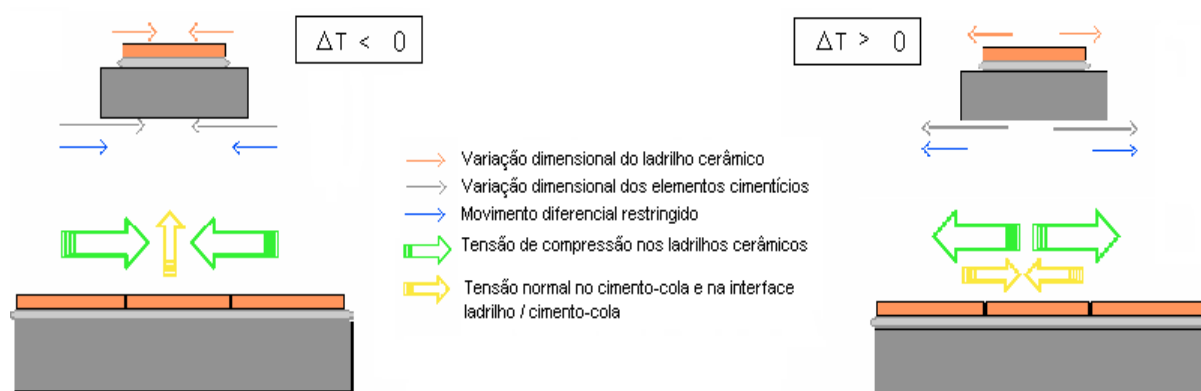


Figura 5.20 – Tensões devido à variação uniforme da temperatura (adaptado de [33]).

O estado de tensão instalado depende da rigidez dos elementos solidarizados e da quantidade de deformação restringida. A rigidez de um elemento depende da sua geometria e das suas características mecânicas, essencialmente o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson. A deformação restringida depende da relação entre a rigidez dos elementos solidarizados [34].

A instalação de tensões de compressão nos ladrilhos que provocam o seu descolamento deve-se à restrição de dilatações dos ladrilhos ou a retracções dos elementos do sistema de revestimento [34].

O desrespeito pelo tempo de abertura, pelo tempo de repouso e pelo tempo prático de utilização da cola e o assentamento ligeiro dos ladrilhos propiciam uma aderência fraca e o consequente descolamento.

Em locais de forte higrometria ou sujeitos a elevadas variações de humidade e temperatura deve interpor-se uma camada pára-vapor.

As principais causas de fissuração dos revestimentos cerâmicos de piso são a fissuração do suporte ou as deformações do suporte incompatíveis com a resistência à tracção dos ladrilhos, com a elasticidade do produto de colagem e com as dimensões e características das juntas. Se as tensões de compressão no plano do revestimento forem muito elevadas, se os ladrilhos estiverem bem colados e se a junta entre eles for muito fina ou rígida poderá ocorrer fissuração ou esmagamento dos ladrilhos comprimidos [34].



Figura 5.21 – Ladrilhos cerâmicos fissurados e quebrados

A aplicação de cargas superiores à resistência mecânica dos ladrilhos ou provocando fenómenos de flexão podem também provocar fissuração.

O risco de fissuração é mais elevado quando a camada de assentamento é colocada sobre o isolamento térmico, uma vez que as suas deformações térmicas serão mais amplas.

A ocorrência de descolamento ou fissuração é determinada pela aderência do sistema de colagem. Assim, se a aderência for baixa há descolamento e se a aderência for elevada há fissuração.

No Quadro 5.1 apresentam-se outras patologias em ladrilhos cerâmicos resultantes de deficiências de concepção ou de execução.



Figura 5.22 – Eflorescências em ladrilhos cerâmicos

Quadro 5.1 – Patologias mais correntes em ladrilhos cerâmicos [35].

Patologia	Sintomas	Causas mais prováveis
Esmagamento ou lascagem nos bordos dos ladrilhos		Movimentos diferenciais suporte-sistema de revestimento, provocando compressão nos ladrilhos
Enodoamento prematuro	Manchas de produtos enodoantes na face útil dos ladrilhos	Ladrilhos com classificação funcional insuficiente para o espaço revestido Abertura de poros na superfície dos ladrilhos que retêm a sujidade
Riscagem ou desgaste prematuro dos ladrilhos	Zonas evidenciando riscagem ou desgaste profundo ou desaparecimento do vitrado dos ladrilhos	
Alteração de cor	Alteração localizada da cor inicial dos ladrilhos	Desgaste nas zonas de maior circulação Ataque químico
Desprendimento do vitrado	Crateras rodeadas por fissuras concêntricas	Seleção inadequada dos ladrilhos que não teve em conta a severidade das acções de choque ou de gelo
Deficiências de planeza		Irregularidades de superfície do suporte Não cumprimento das regras de planeza da superfície do sistema Empeno dos ladrilhos
Escorregamento	Falta de atrito na superfície dos ladrilhos	Eliminação por desgaste da rugosidade superficial dos ladrilhos
Eflorescências	Manchas esbranquiçadas	Cristalização de sais transportados pela água

Devem considerar-se as seguintes recomendações para a escolha do sistema de revestimento cerâmico [34]:

- Os ladrilhos mais porosos favorecem a penetração da cola pelo tardo, o que pode melhorar a aderência ao suporte;
- Relativamente às deformações impostas, o aumento da espessura dos ladrilhos, por um lado reduz as tensões nos ladrilhos, mas por outro aumenta a sua deformação, sendo necessário utilizar colas e produtos de preenchimento das juntas mais flexíveis;
- Um maior número de juntas entre ladrilhos reduz as tensões que neles se instalam;
- Uma cola flexível e espessa pode tornar os ladrilhos mais independentes do suporte, reduzindo a transmissão de cargas entre eles;
- Os produtos de preenchimento das juntas entre ladrilhos devem ser permeáveis ao vapor de água e impermeáveis à água.

5.3. PATOLOGIAS EM LADRILHOS HIDRÁULICOS

Os problemas mais observados em ladrilhos hidráulicos são a existência de peças quebradas, peças descoladas e manchas de humidade.

As peças quebradas resultam de choques e sobrecargas elevadas. As causas do descolamento dos ladrilhos são a retracção da argamassa e a acção da humidade. As manchas de humidade devem-se à presença prolongada de água sobre os ladrilhos.

5.4. PATOLOGIAS EM LAJETAS PRÉ-FABRICADAS

As patologias mais frequentes em lajetas pré-fabricadas são rupturas devidas às acções da circulação de pessoas e quedas de objectos.



Figura 5.23 – Lajeta partida [31]

A falta de cuidados na aplicação dos apoios e a má regulação da sua altura podem provocar o desnivelamento das lajetas.

A aplicação dos apoios em suportes deformáveis também pode levar ao desnivelamento das lajetas.

É também frequente o aparecimento de vegetação neste sistema, devido à junta aberta e consequente ambiente propício por baixo das placas.

6

MÉTODO FACTORIAL

O objectivo do Método Factorial não é obter valores exactos e totalmente fiáveis da vida útil de cada produto da construção, mas sim permitir a comparação de soluções para cada caso concreto. Tal comparação é feita tendo em conta a influência dos factores modificadores sobre a vida útil do produto da construção.

É importante identificar os efeitos de cada um destes factores sobre a vida útil dos revestimentos de coberturas planas recorrendo, para isso, a informações do fabricante, a documentos de laboratórios ou a bibliografia especializada.

Nesta fase, deverá haver cuidado para não duplicar a contabilização da influência de uma determinada condição.

O índice aplicável a cada factor resulta da média aritmética dos seus sub-factores. No Factor E, deve ser feita a média aritmética dos sub-factores relativos à acção do vento e, com este valor e os valores dos restantes sub-factores, é feita a média aritmética do Factor E, possibilitando assim que a acção do vento tenha um peso igual ao dos restantes sub-factores.

6.1. FACTOR A – QUALIDADE DO MATERIAL OU COMPONENTE**6.1.1. DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE CE E CERTIFICADO DE QUALIDADE**

A avaliação da qualidade do material ou componente pode ser feita segundo o nível de controlo de qualidade a que estão sujeitos.

A marcação CE evidencia a conformidade dos produtos com as especificações técnicas aplicáveis (normas harmonizadas e aprovações técnicas europeias) para a satisfação dos Requisitos Essenciais das obras de construção e permite-lhes circular livremente no EEE.

Os produtos certificados com a marca de qualidade “Produto Certificado” cumprem as exigências da marcação CE e são utilizados juntamente com esta para distinguir no mercado os produtos de maior qualidade.

Quadro 6.1 – Índices aplicáveis ao Factor A₁.

A ₁ - Declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	Índice aplicável
Com declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	1,2
Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0

6.1.2. CARACTERÍSTICAS DO ISOLAMENTO TÉRMICO

Face às variações térmicas e às solicitações mecânicas resultantes da passagem de pessoas, o isolamento térmico da cobertura plana deve apresentar propriedades de estabilidade dimensional e compressibilidade que não ponham em causa o funcionamento das restantes camadas das coberturas, em especial o revestimento de impermeabilização. Quanto menor for a compressibilidade do isolamento térmico, menor será a deformação da membrana e menor a propensão para a rotura da mesma.

A classificação ISOLE permite avaliar as características do isolamento térmico segundo cinco factores:

- I – Compressibilidade: caracteriza a deformabilidade do material isolante. Níveis: I1, I2, I3, I4 e I5;
- S – Estabilidade dimensional: caracteriza a estabilidade das dimensões sob a influência das variações de temperatura e de humidade e de solicitações mecânicas. Níveis: S1, S2, S3 e S4;
- O – Comportamento à água: caracteriza o comportamento à água, absorção de água, impermeabilidade. Níveis: O1, O2 e O3;
- L – Comportamento mecânico: caracteriza o comportamento mecânico em coesão e flexão. Níveis: L1, L2, L3 e L4;
- E – Permeabilidade ao vapor de água: caracteriza a capacidade do material isolante de se opor à passagem do vapor de água. Níveis: E1, E2, E3, E4 e E5.

A classificação ISOLE para coberturas planas é a que se encontra no Quadro 6.2.

Quadro 6.2 – Classificação ISOLE de coberturas planas [36].

Solução	I	S	O	L	E
Cobertura tradicional	3 - Carga $\leq 5 \text{ KN/m}^2$	3	2	3	2
	4 - $5 \text{ KN/m}^2 < \text{Carga} \leq 10 \text{ KN/m}^2$				
	5 - Carga $> 10 \text{ KN/m}^2$				
Cobertura invertida	3 - Carga $\leq 5 \text{ KN/m}^2$	2	3	4	2
	4 - $5 \text{ KN/m}^2 < \text{Carga} \leq 10 \text{ KN/m}^2$				
	5 - Carga $> 10 \text{ KN/m}^2$				

Quadro 6.3 – Índices aplicáveis ao Factor A_2 .

A_2 - Características do isolamento térmico	Índice aplicável
Isolamento térmico com classificação ISOLE superior à recomendada para o tipo de cobertura	1,2
Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0
Isolamento térmico com classificação ISOLE inferior à recomendada para o tipo de cobertura	0,8

6.1.3. PRESENÇA DE ARMADURA NAS MEMBRANAS TERMOPLÁSTICAS E ELASTOMÉRICAS

As armaduras melhoram a estabilidade dimensional, a resistência ao rasgamento e à acção de cargas pontuais. Face aos vários tipos de armadura que estas membranas podem incorporar ou não, apenas será avaliada a presença ou ausência de armadura na membrana. Os índices aplicáveis reflectem alguma incerteza sobre a influência da armadura nas várias membranas.

Quadro 6.4 – Índices aplicáveis ao Factor A₃.

A ₃ - Presença de armadura na membrana	Índice aplicável
Membrana armada	1,1
Membrana não armada	1,0

6.1.4. TIPO DE ARMADURA DAS MEMBRANAS DE BETUMES POLÍMEROS

As membranas de betumes polímeros podem incorporar um feltro de poliéster ou de fibra de vidro, ou ambos. As membranas armadas com feltro de poliéster apresentam maior resistência ao punçoamento e à tracção e maior extensão na rotura.

Quadro 6.5 – Índices aplicáveis ao Factor A₄.

A ₄ - Tipo de armadura da membrana betuminosa	Índice aplicável
Membrana armada com feltro de poliéster de 250 g/m ² ou armada com feltros de poliéster e de fibra de vidro.	1,2
Membrana armada com feltro de poliéster de, pelo menos, 150 g/m ²	1,0
Membrana armada com feltro de poliéster com menos de 150 g/m ² ou com feltro de fibra de vidro	0,8

6.1.5. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO DE COLAGEM

Nas coberturas planas com protecção pesada constituída por ladrilhos cerâmicos ou hidráulicos, o produto de colagem deve ser uma argamassa tradicional com traço 1:3 ou 1:4 ou um cimento-cola da classe C2 ou C2Sn (ladrilhos com área inferior a 2000 cm²), para garantir uma aderência adequada e resistir às tensões resultantes das variações dimensionais restringidas dos elementos do sistema de revestimento.

Quadro 6.6 – Índices aplicáveis ao Factor A₅.

A ₅ - Características do produto de colagem	Índice aplicável
Cimento-cola da classe C2Sn	1,2
Argamassa tradicional com traço 1:3 ou 1:4 ou cimento-cola da classe C2	1,0
Argamassa tradicional com outro traço ou cimento-cola da classe C1	0,8

6.1.6. CARACTERÍSTICAS DOS LADRILHOS CERÂMICOS

Nos pavimentos exteriores devem ser utilizados ladrilhos cerâmicos com absorção de água (E) inferior a 3%, por terem melhores características de resistência ao desgaste, mecânica e aos ciclos de gelo/degelo. No entanto, uma vez que são menos porosos, dificultam a penetração da cola pelo tardo, podendo comprometer a aderência ao suporte.

O Factor A₅ avalia a aderência do produto de colagem aos ladrilhos, pelo que não será feita referência a esse aspecto para não sobrepor a contribuição desse efeito.

Quadro 6.7 – Índices aplicáveis ao Factor A₆.

A ₆ - Características dos ladrilhos cerâmicos	Índice aplicável
Ladrilhos com absorção de água: $E \leq 0,5\%$	1,2
Ladrilhos com absorção de água: $0,5\% < E \leq 3\%$	1,0
Ladrilhos com absorção de água: $E > 3\%$	0,8

6.1.7. CLASSES DE CARGA DE RUPTURA DOS LADRILHOS HIDRÁULICOS

Os ladrilhos hidráulicos são avaliados segundo a sua resistência à flexão de acordo com o Quadro 4.4. Naturalmente, quanto mais elevada for a classe de ruptura dos ladrilhos menor é a probabilidade de fissurarem.

Quadro 6.8 – Índices aplicáveis ao Factor A_7 .

A_7 - Carga de ruptura dos ladrilhos hidráulicos	Índice aplicável
Ladrilhos hidráulicos da classe 3 (UT)	1,2
Ladrilhos hidráulicos da classe 2 (TT)	1,0
Ladrilhos hidráulicos da classe 1 (ST)	0,8

6.1.8. CLASSES DE RESISTÊNCIA ÀS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DOS LADRILHOS HIDRÁULICOS

Os ladrilhos hidráulicos também podem ser avaliados segundo a sua percentagem de absorção de água de acordo com o Quadro 4.5. Tal como para os ladrilhos cerâmicos, os ladrilhos hidráulicos com menor absorção de água possuem melhores características de resistência ao desgaste, mecânica e aos ciclos de gelo/degelo.

Quadro 6.9 – Índices aplicáveis ao Factor A_8 .

A_8 - Absorção de água dos ladrilhos hidráulicos	Índice aplicável
Ladrilhos hidráulicos da classe 3 (D)	1,2
Ladrilhos hidráulicos da classe 2 (B)	1,0
Ladrilhos hidráulicos da classe 1 (A)	0,8

6.1.9. CLASSES DE CARGA DE RUPTURA DAS LAJETAS PRÉ-FABRICADAS

As lajetas pré-fabricadas são avaliadas segundo a sua carga de ruptura de acordo com o Quadro 4.6. Tal como para os ladrilhos hidráulicos, quanto maior for a classe de ruptura das lajetas menor é a probabilidade de fissurarem.

Quadro 6.10 – Índices aplicáveis ao Factor A_9 .

A_9 - Carga de ruptura das lajetas pré-fabricadas	Índice aplicável
Lajetas da classe 3 (U)	1,2
Lajetas da classe 2 (T)	1,0
Lajetas da classe 1 (S)	0,8

6.1.10. CLASSES DE RESISTÊNCIA ÀS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DAS LAJETAS PRÉ-FABRICADAS

As lajetas pré-fabricadas podem ser avaliadas segundo a sua percentagem de absorção de água de acordo com o Quadro 4.7. As lajetas com menor absorção de água apresentam melhores características mecânicas e são menos influenciadas pelos ciclos de gelo/degelo.

Quadro 6.11 – Índices aplicáveis ao Factor A_{10} .

A_{10} - Absorção de água das lajetas pré-fabricadas	Índice aplicável
Lajetas da classe 3 (D)	1,2
Lajetas da classe 2 (B)	1,0
Lajetas da classe 1 (A)	0,8

6.1.11. CLASSES DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO DAS LAJETAS PRÉ-FABRICADAS

A avaliação da resistência ao desgaste das lajetas pré-fabricadas de betão é feita de acordo com o Quadro 4.8. Optou-se com incluir esta característica no Factor A, uma vez que se desconhece a intensidade do uso sobre as lajetas.

Quadro 6.12 – Índices aplicáveis ao Factor A_{11} .

A_{11} - Resistência ao desgaste das lajetas pré-fabricadas	Índice aplicável
Lajetas da classe 4 (I)	1,2
Lajetas da classe 2 (G) ou 3 (H)	1,0
Lajetas da classe 1 (F)	0,8

6.2. FACTOR B – NÍVEL DE QUALIDADE DO PROJECTO

Este factor assume grande importância na estimativa da durabilidade dos revestimentos de coberturas planas, tendo em conta que 38% das patologias verificadas nestas coberturas se devem a erros ou deficiências de projecto [30].

6.2.1. QUALIDADE E NÍVEL DE PORMENORIZAÇÃO CONSTRUTIVA EM PONTOS SINGULARES

A qualidade e o nível de pormenorização construtiva (peças escritas e desenhadas) do projecto nos pontos de evacuação de águas pluviais e na ligação do revestimento de impermeabilização com os elementos emergentes da cobertura permitem a correcta execução do que foi projectado. Consideram-se soluções adequadas, aquelas em que a camada de forma é rebaixada na zona em redor dos tubos de queda para colocação de uma camada complementar de remate e da embocadura do tubo de queda. Os remates com platibandas ou elementos emergentes são executados totalmente aderentes, com uma altura mínima de 10 cm. O remate pode ficar aparente e ser recoberto com um rufo metálico ou pode ser inserido na parede e protegido por um reboco armado. Se a altura for superior a 40 cm utilizam-se fixações mecânicas para ligação do remate à platibanda.

Quadro 6.13 – Índices aplicáveis ao Factor B_1 .

B_1 - Qualidade e nível de pormenorização construtiva do projecto	Índice aplicável
Soluções adequadas e pormenorização cuidada	1,2
Soluções adequadas e pormenorização geral	1,0
Soluções inadequadas ou deficiente pormenorização	0,8

6.2.2. DEFINIÇÃO DA POSIÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO

A posição do isolamento térmico influencia a durabilidade da membrana de impermeabilização, na medida em que nas coberturas invertidas o isolamento térmico reduz significativamente o choque térmico na membrana, quer para efeitos diários quer para sazonais, e protege-a dos danos mecânicos durante a execução das obras.

Este factor apenas será aplicado a coberturas com protecção pesada, para não sobrepor os efeitos do factor E_3 , que tem em conta o efeito da temperatura sobre as membranas aparentes. São consideradas neste factor as membranas de betumes-polímeros APP e SBS, de PVC plastificado e de CPE, por serem as mais negativamente afectadas pelo calor.

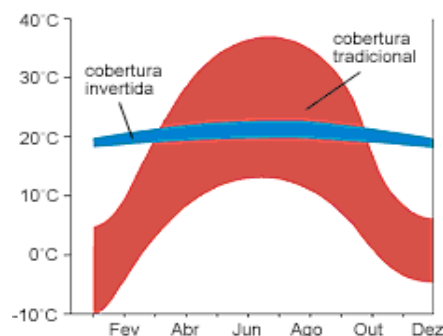


Figura 6.1 – Variação térmica na impermeabilização em coberturas tradicionais e em coberturas invertidas [37].

Quadro 6.14 – Índices aplicáveis ao Factor B₂.

B ₂ - Posição do isolamento térmico	Índice aplicável
Cobertura invertida com protecção pesada	1,2
Cobertura tradicional com protecção pesada	1,0

6.2.3. DEFINIÇÃO DA CAMADA DE DESSOLIDARIZAÇÃO E BARREIRA DE SEPARAÇÃO QUÍMICA

A camada de dessolidarização protege o revestimento de impermeabilização das acções mecânicas transmitidas pela camada de protecção ou pelo isolamento térmico ou camada de forma.

A barreira de separação química evita o contacto directo entre materiais quimicamente incompatíveis, para que não ocorra a perda de plastificantes da membrana e consequente redução da ductilidade. Considera-se que uma membrana está quimicamente protegida quando é aplicada uma barreira de separação química entre ela e as camadas adjacentes ou quando os materiais das camadas adjacentes não apresentem risco de incompatibilidade química para a membrana.

Quadro 6.15 – Índices aplicáveis ao Factor B₃.

B ₃ - Camada de dessolidarização e barreira de separação química	Índice aplicável
Membrana dessolidarizada e quimicamente protegida	1,2
Membrana aderente ao suporte e/ou protecção pesada e quimicamente protegida	1,0
Membrana aderente ao suporte e/ou protecção pesada e quimicamente desprotegida	0,8

6.2.4. DEFINIÇÃO DE CAMINHOS DE CIRCULAÇÃO

Em coberturas de acessibilidade limitada, a inexistência de caminhos de circulação para trabalhos de inspecção e manutenção aumenta o risco de perfuração das membranas devido às sobrecargas resultantes da permanência de pessoas sobre a impermeabilização.

Quadro 6.16 – Índices aplicáveis ao Factor B₄.

B ₄ - Caminhos de circulação	Índice aplicável
Existência de caminhos de circulação que permitem o acesso a todos os pontos de inspecção	1,2
Existência de caminhos de circulação que permitem o acesso aos pontos de inspecção principais	1,0
Inexistência de caminhos de circulação	0,8

6.2.5. DEFINIÇÃO DA LARGURA DAS JUNTAS DE SOBREPOSIÇÃO DAS MEMBRANAS

Segundo ensaios laboratoriais realizados por Gonçalves [14], a resistência à tracção-corte e à pelagem das juntas de sobreposição de membranas APP, SBS e TPO diminui com a redução da largura da junta. De uma maneira geral, para membranas com as mesmas características e ligadas pelo mesmo processo, a redução da resistência das juntas de sobreposição com a diminuição da sua largura pode ser considerada válida para todas as membranas.

Quadro 6.17 – Índices aplicáveis ao Factor B₅.

B ₅ - Juntas de sobreposição das membranas	Índice aplicável
Largura das juntas superior à recomendada para a membrana	1,2
Largura das juntas igual à recomendada para a membrana	1,0
Largura das juntas inferior à recomendada para a membrana	0,8

6.2.6. DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE FIXAÇÃO MECÂNICA AO SUPORTE (PONTUAL OU LINEAR)

O sistema de fixação linear apresenta algumas vantagens relativamente ao sistema de fixação pontual, tais como: estabilidade dos parafusos através da barra; fixação independente da compressibilidade do isolamento térmico; distribuição homogénea de esforços na membrana.

Por estas razões, os sistemas de fixação lineares com utilização de calhas metálicas sujeitos a ensaios de sucção do vento apresentam melhor capacidade resistente do que os sistemas de fixação pontuais [12].

Quadro 6.18 – Índices aplicáveis ao Factor B₆.

B ₆ - Sistema de fixação mecânica ao suporte	Índice aplicável
Membranas fixadas linearmente ao suporte	1,2
Membranas fixadas pontualmente ao suporte	1,0

6.2.7. DEFINIÇÃO DAS JUNTAS DE DILATAÇÃO

As juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura, porque estão mais sujeitas às acções mecânicas devidas à circulação de pessoas, apresentam maior risco de fissuração para as membranas. Os movimentos da junta de dilatação agravam a fissuração das camadas sobrejacentes se estas não forem interrompidas nessa zona.

Quadro 6.19 – Índices aplicáveis ao Factor B₇.

B ₇ - Juntas de dilatação	Índice aplicável
Juntas de dilatação sobreelevadas e com interrupção da membrana	1,2
Juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura e com interrupção da camada de protecção rígida e/ou da membrana	1,0
Colocação de camada de protecção rígida e/ou membrana sem interrupção sobre a junta de dilatação	0,8

6.2.8. DEFINIÇÃO DE JUNTAS DE FRACCIONAMENTO

A ausência de juntas de fraccionamento na camada de protecção pesada da cobertura aumenta as deformações da camada de suporte dos ladrilhos e, consequentemente, as tensões a que estão sujeitos.

Quadro 6.20 – Índices aplicáveis ao Factor B₈.

B ₈ - Juntas de fraccionamento	Índice aplicável
Juntas de fraccionamento espaçadas menos de 4 m e formando superfícies com área inferior a 10 m ²	1,2
Juntas de fraccionamento espaçadas menos de 4m	1,0
Inexistência de juntas de fraccionamento	0,8

6.2.9. DEFINIÇÃO DA LARGURA DAS JUNTAS ENTRE LADRILHOS

A largura e o material das juntas entre ladrilhos influenciam a capacidade destes se deformarem sem descolamento ou fissuração. Se a largura das juntas for muito pequena podem criar-se tensões nos ladrilhos que levam ao seu descolamento ou fissuração. Além disso, as juntas, ao contrário dos ladrilhos, são permeáveis e por isso reduzem a pressão de vapor que pode provocar o descolamento dos ladrilhos. As argamassas de juntas à base de resinas de reacção (RG), relativamente às argamassas à base de cimento (CG), apresentam melhores características de resistência à abrasão, flexão e compressão e menor absorção de água.

Quadro 6.21 – Índices aplicáveis ao Factor B₉.

B ₉ - Juntas entre ladrilhos	Índice aplicável
Juntas com a espessura adequada (5/6 mm) e com argamassa RG	1,2
Juntas com espessura adequada (5/6 mm) e com argamassa CG	1,0
Juntas com espessura inadequada	0,8

6.2.10. REFORÇO DA IMPERMEABILIZAÇÃO NA ZONA DO APOIO DA LAJETA

Em coberturas revestidas por lajetas sobreelevadas, deve ser colocada uma banda de membrana de impermeabilização sob os apoios, com dimensões superiores às dos apoios das lajetas, para reduzir o risco de perfuração da membrana.

Quadro 6.22 – Índices aplicáveis ao Factor B₁₀.

B ₁₀ - Reforço da impermeabilização sob o apoio	Índice aplicável
Existência de reforço da impermeabilização sob o apoio com dimensões superiores às do apoio	1,0
Ausência de reforço da impermeabilização sob o apoio	0,8

6.3. FACTOR C – NÍVEL DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

A maior parte das patologias verificadas em coberturas planas (44%) está associada à incorrecta aplicação dos materiais que delas fazem parte [30].

A falta de qualidade na execução deve-se aos reduzidos níveis de qualificação da mão-de-obra e de regularidade da fiscalização da obra.

6.3.1. QUALIFICAÇÃO DA MÃO-DE-OBRA

A mão-de-obra pode ser classificada como qualificada ou não qualificada. Considera-se mão-de-obra qualificada a que satisfaz, pelo menos, os seguintes requisitos [38]:

- O quadro de pessoal activo para as tarefas necessárias à aplicação de determinado produto em obra possui formação profissional específica nessa área de trabalho, pelo que tem

conhecimentos técnicos que garantem os procedimentos correctos para a realização das respectivas tarefas;

- O quadro de pessoal activo em determinada tarefa tem como coordenador um elemento que, além de possuir formação profissional específica nessa área de trabalho, possui formação suficiente para garantir uma correcta interpretação dos projectos.

Quadro 6.23 – Índices aplicáveis ao Factor C₁.

C ₁ - Qualificação da mão-de-obra	Índice aplicável
Mão-de-obra qualificada e experiente	1,2
Mão-de-obra qualificada	1,0
Mão-de-obra não qualificada e inexperiente	0,8

Para as membranas de betumes polímeros atribuem-se valores de 1,1 e 0,9, para a situação mais favorável e menos favorável, respectivamente, uma vez que as técnicas de aplicação destas membranas estão bem consolidadas e não exigem grande qualificação da mão-de-obra ou da fiscalização.

6.3.2. FISCALIZAÇÃO DA OBRA

No âmbito deste trabalho, a principal actividade da Fiscalização é garantir a conformidade entre o projecto e a obra e garantir que a totalidade do projecto é executado.

Embora não caiba à Fiscalização a responsabilidade pelo cumprimento do projecto, um acompanhamento próximo da obra por parte da Fiscalização permite assegurar a conformidade, segurança e qualidade dos trabalhos de construção.

A Fiscalização será considerada inexistente se o dono-de-obra não a contratar, pontual se for contratada mas as deslocações à obra não forem diárias e permanente se as deslocações à obra forem diárias, podendo ou não englobar o horário completo dos trabalhos. Salienta-se que a presença pontual da fiscalização em obra apresenta melhores resultados do que uma presença permanente.

Quadro 6.24 – Índices aplicáveis ao Factor C₂.

C ₂ - Regularidade da Fiscalização em obra	Índice aplicável
Fiscalização pontual	1,2
Fiscalização permanente	1,0
Fiscalização inexistente	0,8

6.4. FACTOR D – CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE INTERIOR

As características do ambiente interior normalmente consideradas prendem-se com a Higrometria dos locais interiores. Embora a humidade proveniente do interior possa ter alguma influência em determinadas camadas da cobertura, no caso concreto dos revestimentos esta acção pode ser desprezada. Acresce ainda o facto das coberturas planas possuírem normalmente uma barreira pára-vapor e, mesmo que assim não seja, a membrana de impermeabilização contribui para impedir a passagem do vapor de água.

6.5. FACTOR E – CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE EXTERIOR

Os revestimentos de coberturas planas estão sujeitos a várias solicitações que contribuem fortemente para a sua degradação, uma vez que a incidência dos agentes atmosféricos actua de forma mais intensa

do que nos outros elementos de construção. Consideram-se como solicitações mais importantes a temperatura, radiação solar, precipitação e vento.

6.5.1. ACÇÃO DA TEMPERATURA

A envolvente exterior dos edifícios pode atingir amplitudes térmicas, ao longo do ano, superiores a 50 °C, as quais provocam tensões ou deformações elevadas, caso existam ou não restrições de movimentos.

A variação dimensional provocada pela variação da temperatura é dada pela expressão seguinte:

$$\Delta L = L \times \alpha_1 \times \Delta t \quad (2)$$

Sendo:

ΔL – Variação do comprimento por acção da temperatura (m);

L – Comprimento inicial (m);

α_1 – Coeficiente de dilatação térmica linear (°C⁻¹);

Δt – Variação de temperatura (°C).

Se os materiais não estiverem solidarizados entre si, para uma mesma variação de temperatura irão apresentar variações dimensionais diferentes em função do coeficiente de dilatação térmica de cada material. No caso do sistema de revestimento cerâmico ou hidráulico colado isso não acontece, pelo que a componente diferencial das suas variações dimensionais fica restringida e criam-se tensões no revestimento e no suporte.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [39] divide o país em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3), de acordo com a Figura 6.2.

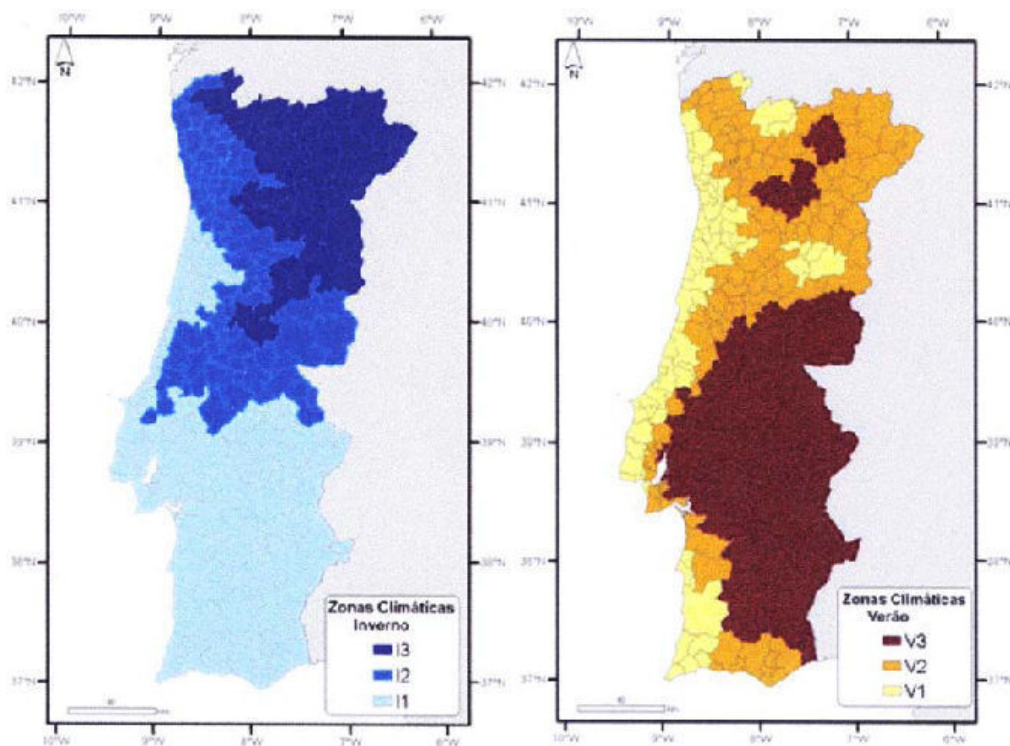


Figura 6.2 – Zonas climáticas de Inverno e Verão [39].

Ainda segundo o RCCTE [39], a classificação do zonamento climático pode ser alterada em função da altitude dos locais.

Quadro 6.25 – Índices aplicáveis ao Factor E_1 .

E_1 - Zonas climáticas	Índice aplicável
Edifícios localizados nas zonas I1 e V1	1,2
Edifícios localizados nas restantes zonas	1,0
Edifícios localizados nas zonas I3 e V3	0,8

6.5.2. ACÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

A incidência da radiação solar sobre os materiais provoca na sua superfície exterior um aumento de temperatura em relação à temperatura ambiente exterior. A deformação diferencial deve-se à diferença de coeficientes de dilatação e é agravada pelo diferencial de temperatura.

A temperatura superficial exterior de um material sujeito à radiação solar é dada pela seguinte expressão:

$$t_{se} = t_e + \frac{\alpha_s \times R}{h_e} \quad (3)$$

Sendo:

t_{se} – Temperatura superficial exterior (°C);

t_e – Temperatura do ambiente exterior (°C);

α_s – Coeficiente de absorção da radiação solar;

R – Radiação solar global (W/m²);

h_e – Condutância térmica superficial exterior (W/m².°C). Considera-se $h_e = 25$ W/m².°C.

O valor de α_s depende da cor da superfície do material, de acordo com o Quadro 6.26.

Quadro 6.26 – Valores de α_s em função da cor [17].

Cor da superfície	Valor de α_s
Branco	0,2 a 0,3
Amarelo, cor-de-laranja, vermelho claro	0,3 a 0,5
Vermelho escuro, verde claro, azul claro	0,5 a 0,7
Castanho, verde escuro, azul vivo, azul escuro	0,7 a 0,9
Castanho escuro, preto	0,9 a 1,0

Em Portugal Continental, os valores máximos de radiação global incidente sobre superfícies horizontais exteriores, com inclinação entre 0° e 15°, são de 750 W/m², no Inverno, e de 1100 W/m², no Verão.

Quadro 6.27 – Índices aplicáveis ao Factor E_2 .

E_2 - Coeficiente de absorção da radiação solar	Índice aplicável
Valores de α_s entre 0,2 e 0,3 ou material abrigado da exposição solar	1,2
Valores de α_s entre 0,3 e 0,7	1,0
Valores de α_s superiores a 0,7	0,8

A acção da temperatura e da radiação solar não afecta da mesma forma todo o tipo de membranas. Assim, segundo o referido em § 4.1, consideram-se mais negativamente afectadas por estas acções as membranas de betumes polímeros APP e SBS, de PVC plastificado e de CPE. Às restantes membranas devem ser aplicados índices de 1,1 e 0,9, para a situação mais favorável e menos favorável, respectivamente. A acção das variações dimensionais das camadas adjacentes às membranas de impermeabilização já foi considerada no Quadro 6.15, através da definição da camada de dessolidarização.

Quadro 6.28 – Índices aplicáveis ao Factor E_3 .

E_3 - Acção da temperatura em membranas aparentes	Índice aplicável
Membranas localizadas na zona V1 ou V2, com valores de α_s entre 0,2 e 0,3	1,2
Membranas sujeitas às restantes situações	1,0
Membranas localizadas na zona V2 ou V3, com valores de α_s superiores a 0,7	0,8

6.5.3. ACÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

A presença contínua de água sobre as coberturas altera algumas propriedades dos materiais de revestimento reduzindo o seu tempo de vida útil.

No caso dos revestimentos cerâmicos, a acção da água ou da humidade provoca a diminuição da resistência mecânica do material de fixação e a expansão dos ladrilhos. Normalmente, quando um material se humidifica aumenta o seu volume. A expansão depende essencialmente da porosidade do material. Uma vez que a porosidade dos ladrilhos cerâmicos já foi avaliada, a classificação que se apresenta no Quadro 6.30 diz respeito à propensão para a infiltração de água pelas juntas entre ladrilhos.

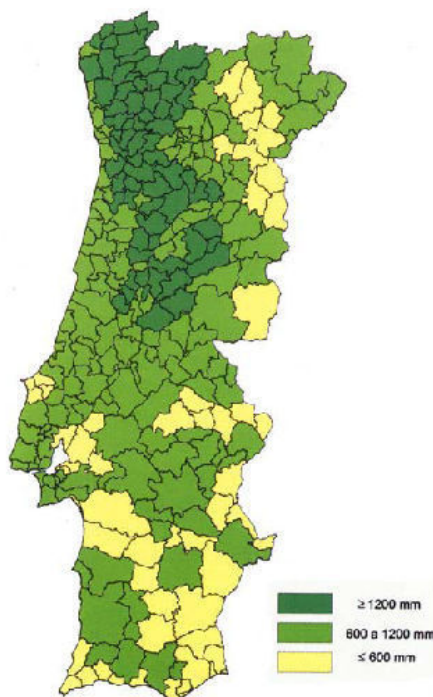


Figura 6.3 – Zonas de precipitação no território nacional [40].

Tal como no caso da temperatura, a solidarização de materiais com coeficientes de expansão diferentes resulta na restrição das deformações impostas por alterações do teor de humidade.

A figura 6.3 mostra que Portugal continental pode ser dividido em três zonas de precipitação, de acordo com os valores de pluviosidade definidos no Quadro 6.29.

Quadro 6.29 – Zonas de precipitação.

Zonas de precipitação	Pluviosidade
P1	Pouco pluvioso (≤ 600 mm)
P2	Moderadamente pluvioso (600 a 1200 mm)
P3	Muito pluvioso (≥ 1200 mm)

Quadro 6.30 – Índices aplicáveis ao Factor E_4 .

E_4 - Zonas de precipitação	Índice aplicável
Edifícios localizados na zona P1	1,2
Edifícios localizados na zona P2	1,0
Edifícios localizados na zona P3	0,8

6.5.4. ACÇÃO DO VENTO

A acção do vento tem particular importância na redução da vida útil de membranas utilizadas em sistemas aderentes e em sistemas fixados mecanicamente. Nos primeiros, o vento pode provocar perda de aderência entre o sistema e o suporte ou nas juntas das membranas. Nos sistemas fixados mecanicamente, a rotura pode ocorrer na peça de fixação, na ligação da peça à estrutura resistente, nas juntas de sobreposição das membranas ou na membrana, junto à fixação. A acção do vento pode também provocar o deslocamento da protecção pesada solta de sistemas independentes.

Nos ladrilhos as tensões geradas pelo vento são normalmente bastante inferiores à resistência dos produtos de colagem [17].

A acção do vento pode apresentar uma resposta estática ou dinâmica. A primeira refere-se a coberturas invertidas com protecção pesada e a sistemas aderentes ao suporte. A resposta dinâmica é típica dos sistemas fixados mecanicamente. A diferença entre os dois tipos de resposta reside no efeito de fadiga dos materiais, resultante da insuflação cíclica da membrana [12].

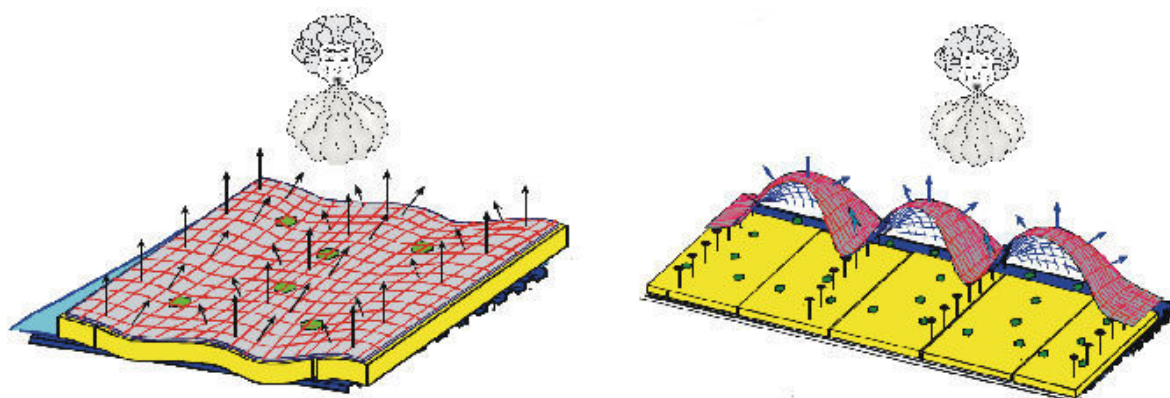


Figura 6.4 – Resposta estática e resposta dinâmica [41].

O efeito de sucção do vento resulta da diferença de pressão entre o interior e o exterior da cobertura. A pressão interior mantém-se constante, no entanto, a pressão exterior diminui devido ao aumento de velocidade do ar quando este atinge uma fachada e é forçado a subir até à cobertura [12].

A diferença de pressão entre o interior e o exterior da cobertura depende dos seguintes factores:

- Meio envolvente do edifício – corresponde à presença ou não de edifícios adjacentes que provoquem a redução da velocidade de escoamento do vento;
- Altura do edifício – quanto mais alto for um edifício maior será a diferença de pressão na cobertura devido ao facto de uma superfície mais alta permitir a actuação de maior quantidade de vento, sobre a mesma largura de platibanda;
- Existência e altura das platibandas – As maiores pressões do vento sobre a cobertura verificam-se nos cantos, sendo intermédias nos bordos e menores em zona corrente. As platibandas, em função da sua altura, permitem reduzir a sucção do vento sobre as coberturas, especialmente na zona dos bordos e cantos.
- Existência de aberturas no edifício – A entrada de vento para o interior do edifício exerce pressão sobre a cobertura;

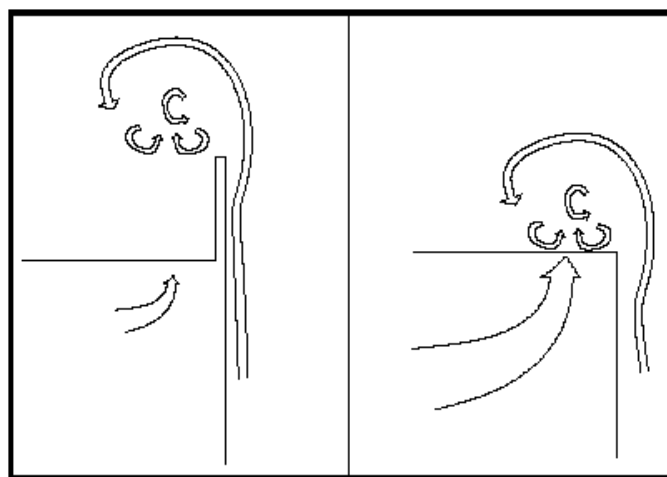


Figura 6.5 – Acção do vento em coberturas em terraço com e sem platibanda [12].

O Regulamento de Segurança e Acções para Edifícios e Pontes (RSA) [42] caracteriza a acção do vento em função do Zonamento do Território e da Rugosidade Aerodinâmica do Solo.

Assim, para efeitos da quantificação da acção do vento, Portugal divide-se em duas zonas:

- Zona A – a generalidade do território, excepto as regiões pertencentes a Zona B;
- Zona B – os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou a altitudes superiores a 600 m.

Para ter em conta a variação da acção do vento com a altura acima do solo, o RSA considera dois tipos de Rugosidade Aerodinâmica do Solo:

- Rugosidade do tipo I – Rugosidade a atribuir aos locais situados no interior de zonas urbanas em que predominem edifícios de médio e grande porte;
- Rugosidade do tipo II – Rugosidade a atribuir aos restantes locais, nomeadamente zonas rurais e periferia de zonas urbanas.

As depressões que se exercem sobre as coberturas planas são calculadas multiplicando a pressão dinâmica do vento (w) pelos coeficientes de pressão definidos no RSA [42].

Quadro 6.31 – Valores característicos da pressão dinâmica do vento – w (Pa), segundo o RSA [42].

Altura acima do solo h (m)	Estruturas identicamente solicitadas pelo vento				Restantes estruturas			
	Zona A		Zona B		Zona A		Zona B	
	Rugosidade		Rugosidade		Rugosidade		Rugosidade	
	Tipo I	Tipo II	Tipo I	Tipo II	Tipo I	Tipo II	Tipo I	Tipo II
0	921	1212	1115	1467	709	932	857	1128
10	921	1212	1115	1467	709	932	857	1128
15	921	1347	1115	1630	709	1036	857	1254
20	1025	1454	1240	1760	788	1119	954	1353
40	1309	1759	1584	2129	1007	1353	1219	1638
70	1616	2064	1956	2498	1243	1588	1505	1921
120	2000	2419	2420	2927	1538	1861	1861	2251

A subdivisão do factor E_5 procura estabelecer limites para a quantificação do efeito da pressão dinâmica do vento sobre as coberturas. No entanto, estes limites carecem de comprovação laboratorial e, por isso, serão aplicáveis factores de 1,1 e 0,9 para reduzir o erro associado à incerteza dos intervalos considerados.

Quadro 6.32 – Índices aplicáveis ao Factor E_5 .

E_5 - Localização da cobertura face às acções do vento	Índice aplicável
Pressão dinâmica do vento: $w \leq 1000$ Pa	1,1
Pressão dinâmica do vento: $1000 < w \leq 1300$ Pa	1,0
Pressão dinâmica do vento: $w > 1300$ Pa	0,9

Lopes [43] considera que as lajes contínuas de betão armado são estruturas estanques ao ar, enquanto que estruturas resistentes constituídas por elementos descontínuos (chapas metálicas nervuradas ou pranchas de madeira) têm estanquidade reduzida, podendo aumentar com a presença da barreira pára-vapor.

Quadro 6.33 – Índices aplicáveis ao Factor E_6 .

E_6 - Estanquidade ao ar da estrutura resistente	Índice aplicável
Cobertura com protecção pesada	1,2
Cobertura com estrutura resistente em betão armado, sem protecção pesada	1,0
Cobertura com estrutura resistente em chapas metálicas nervuradas ou pranchas de madeira, sem protecção pesada	0,8

Segundo SILVA [12], um aumento da altura da platibanda de 0,5 para 1,2 m pode reduzir para metade o número de fixações necessárias na zona dos cantos e bordos.

Quadro 6.34 – Índices aplicáveis ao Factor E₇.

E ₇ - Altura das platibandas	Índice aplicável
Cobertura com platibandas de altura superior a 1 m	1,2
Cobertura com platibandas de altura entre 0,5 e 1 m	1,0
Cobertura sem platibanda ou com platibanda de altura inferior a 0,5 m	0,8

Uma vez que a acção do vento é considerada em três sub-factores, é necessário fazer uma média aritmética entre eles para que na Matriz de Durabilidade tenham um peso equivalente aos restantes subfactores do Factor E.

6.5.5. ACÇÃO DA POLUIÇÃO E INFLUÊNCIA MARÍTIMA

A acção da poluição e a proximidade marítima provoca alterações de cor nos materiais e degrada as suas propriedades, devido aos compostos químicos que podem existir na atmosfera do local.

A Association Française de Normalisation (AFNOR) [44] apresenta uma proposta de classificação das atmosferas, de acordo com a poluição e influência marítima a que os produtos da construção estão sujeitos.

Quadro 6.35 – Definição das atmosferas exteriores (adaptado de [44]).

Atmosfera	Características da atmosfera
E1	Atmosfera rural não poluída. Zonas rurais sem presença de poluição particular.
E2	Atmosfera normal urbana ou industrial. Pequenos ou médios aglomerados e/ou zonas industriais com produção de gases e fumos, mas que não contenham elevado teor em compostos químicos.
E3	Atmosfera severa urbana ou industrial. Importantes aglomerados e/ou zona industrial com produção de gases e fumos com compostos químicos.
E4	Atmosfera das construções situadas entre os 10 e os 20 km do litoral.
E5	Atmosfera das construções situadas entre os 3 e os 10 km do litoral.
E6	Atmosfera das construções situadas a menos de 3 km do litoral.
E7	Combinação das atmosferas E2 e E6.
E8	Combinação das atmosferas E3 e E6.
E9	Combinação das atmosferas E3 e E6, com agressividade agravada por factores climáticos

Quadro 6.36 – Índices aplicáveis ao Factor E₈.

E ₈ - Características da atmosfera	Índice aplicável
Atmosfera E1*, E2*, E1+E4 ou E2+E4	1,2
Atmosfera E3*, E3+E4, E1+E5 ou E2+E5	1,0
Atmosfera E3+E5, E1+E6, E7, E8 ou E9	0,8

* Construções situadas a mais de 20 km do litoral.

6.6. FACTOR F – CARACTERÍSTICAS DO USO

Na avaliação da contribuição deste factor para a estimativa da vida útil dos revestimentos de coberturas planas, considera-se a classificação UPEC para os pavimentos.

A classificação UPEC aplica-se aos locais e revestimentos de pavimento e permite correlacionar as exigências relativas às condições de utilização dos locais com as características dos materiais de revestimento de pavimento.

A classificação UPEC apresenta quatro classes, segundo cada letra da sigla, que traduzem as diferentes severidades de uso, no caso dos locais, e o nível de resistência aos agentes de deterioração, no caso dos revestimentos:

- Classe U – Resistência ao desgaste. Traduz os efeitos devidos à circulação de pessoas. São consideradas as alterações de aspecto (perda de brilho) e de desgaste (perda de matéria). Níveis: U2, U2s, U3, U3s e U4;
- Classe P – Resistência mecânica (punçoamento). Traduz as acções mecânicas do mobiliário (efeito estático e arrastamento) e dos objectos (choques). Níveis: P2, P3, P4 e P4s.
- Classe E – Comportamento sob a acção da água. Caracteriza a frequência da acção da água sobre o pavimento, relacionada com a utilização. Níveis: E1, E2 e E3;
- Classe C – Resistência aos agentes físico-químicos. Caracteriza o emprego de substâncias em que a acção físico-química tem incidência na durabilidade do revestimento de piso. Níveis: C0, C1 e C2.

Cada classe aumenta de acordo com a severidade do uso do local ou com o nível de desempenho atingido pelo produto.

No caso das coberturas em terraço, os materiais de revestimento de piso devem ter uma classificação mínima: U3 P3 E3 C2.

Quadro 6.37 – Índices aplicáveis ao Factor F_1 .

F_1 - Classificação do produto segundo a adequação ao uso	Índice aplicável
Possui classificação UPEC superior à mínima exigida	1,2
Possui a classificação UPEC mínima exigida	1,0
Possui classificação UPEC inferior à mínima exigida	0,8

6.7. FACTOR G – NÍVEL DE MANUTENÇÃO

Este factor refere-se às operações de inspecção, limpeza, reparação, pró-activas e/ou substituição parcial ou total do revestimento, de acordo com o definido pelo fabricante, de modo a permitir que o revestimento apresente um comportamento satisfatório durante o período de vida previsto na fase de projecto.

O nível de manutenção dos revestimentos de coberturas planas é avaliado pelas necessidades de manutenção. As operações de inspecção e limpeza devem ter uma periodicidade igual à indicada no Quadro 6.38, procedendo-se a medidas pró-activas ou correctivas, sempre que se justifique. A informação contida no Quadro 6.38 deve ser adaptada ao tipo de cobertura a inspeccionar.

Quadro 6.38 – Plano de Manutenção para coberturas planas.

Operações	Tarefas	Periodicidade (anos)	Responsável
Inspeção	Inspeção do sistema de evacuação de águas (caleiras e tubos de queda)	1	Técnico
	Inspeção do remate da impermeabilização com platibandas ou paredes emergentes	1	Técnico
	Inspeção do remate da impermeabilização com tubagens emergentes	1	Técnico
	Inspeção das juntas de dilatação	2	Técnico
	Inspeção do estado dos ladrilhos e lajetas	1	Técnico
	Inspeção das juntas entre ladrilhos	1	Técnico
Limpeza	Limpeza de poeiras, folhas, fungos e objectos cortantes ou pontiagudos sobre a cobertura	1	Proprietário
	Limpeza das caleiras e tubos de queda	1	Proprietário
Medidas Correctivas	Reparação do sistema de evacuação de águas (caleiras e tubos de queda)	Quando necessário	Técnico
	Reparação das juntas entre ladrilhos	Quando necessário	Técnico
	Reparação das juntas de dilatação	Quando necessário	Técnico
	Reparação parcial do sistema de impermeabilização	Quando necessário	Técnico
	Reparação das juntas de sobreposição	Quando necessário	Técnico
	Reparação dos remates com platibandas e paredes ou tubagens emergentes	Quando necessário	Técnico
	Substituição dos ladrilhos ou lajetas partidos ou descolados	Quando necessário	Técnico
	Regularização do godo	Quando necessário	Técnico

Quadro 6.39 – Índices aplicáveis ao Factor G_1 .

G_1 - Frequência da manutenção	Índice aplicável
Realização de todas as operações de manutenção com a periodicidade definida no Quadro 6.38	1,2
Realização de todas as operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0
Ausência de manutenção ou realização de apenas algumas operações de manutenção ou com periodicidade superior a 2 anos	0,8

6.8. APLICAÇÃO DO MÉTODO FACTORIAL

De forma a demonstrar a aplicabilidade do Método Factorial, será estimada a vida útil de uma membrana de betume polímero APP auto-protegida com granulado mineral em três zonas distintas do país.

Esta aplicação do Método Factorial pretende analisar a influência do factor associado às características do ambiente exterior, uma vez que todos os outros factores podem ocorrer aleatoriamente, qualquer

que seja a localização do edifício. Assim, todos os factores, com excepção do Factor E, mantêm-se constantes nos três casos.

Consideram-se três edifícios localizados nas cidades do Porto, Bragança e Lisboa, com estrutura semelhante, assim como as suas coberturas. Para efeitos de aplicação dos índices relativos ao vento, considerou-se uma altura de 15 metros para os três edifícios.

A vida útil de referência (VUR) da membrana, baseada em informações dos fabricantes e em Documentos de Aplicação do LNEC, é de 10 anos.

A vida útil estimada (VUE), tal como descrito no capítulo 2, é obtida pela seguinte fórmula:

$$VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor F} \times \text{Factor G} \quad (4)$$

Apresentam-se nos Quadros 6.40, 6.41 e 6.42 os factores que influenciam a estimativa da vida útil da membrana em questão, bem como os índices aplicáveis a cada factor, e o respectivo valor da VUE para cada caso.

No pior cenário, ou seja, se todos os factores tomarem o valor de 0,8 ou 0,9, conforme os casos, a vida útil mínima da membrana é de 3,8 anos.

$$VUE_{\text{mínima}} = 10 \times \left(\frac{0,8 \times 3}{3} \right) \times \left(\frac{0,8 \times 4}{4} \right) \times \left(\frac{0,9 \times 2}{2} \right) \times \left(\frac{0,8 \times 5 + 0,9}{6} \right) \times 0,8 = 3,8 \text{ anos}$$

Pelo contrário, o melhor cenário é quanto todos os factores tomam os valores máximos de 1,2 ou 1,1, consoante os casos. Nesta situação, a vida útil máxima da membrana é de 22,5 anos.

$$VUE_{\text{máxima}} = 10 \times \left(\frac{1,2 \times 3}{3} \right) \times \left(\frac{1,2 \times 4}{4} \right) \times \left(\frac{1,1 \times 2}{2} \right) \times \left(\frac{1,2 \times 5 + 1,1}{6} \right) \times 1,2 = 22,5 \text{ anos}$$

Estas duas situações representam valores extremos, apenas com significado teórico, uma vez que só em condições excepcionais poderão ser atingidas.

O estudo destes três casos pretende demonstrar qual a cidade onde o efeito da degradação provocada pelo ambiente exterior se faz sentir com maior intensidade sobre a membrana. Os resultados obtidos mostram que é na cidade de Lisboa que a membrana terá menor durabilidade. Estes valores eram de alguma forma esperados se tivermos em conta que a cidade de Lisboa faz parte da zona climática de Verão V2 e está sujeita a elevados níveis de poluição, para além da proximidade marítima. A membrana aplicada na cidade de Bragança, por esta se localizar no interior do país e por possuir baixos níveis de poluição, apresenta o maior valor da durabilidade.

Se compararmos estes valores da durabilidade com os propostos pelo documento guia GD 002 [4] para produtos de construção reparáveis ou de fácil substituição, como no caso da membrana analisada, e para edifícios com uma vida de projecto de 50 anos, verifica-se que não se atinge a duração expectável de 10 anos para este tipo de produtos.

Para respeitar a vida útil definida no referido documento, seria conveniente estudar a possibilidade de escolher uma membrana com outras características, com um coeficiente de absorção da radiação solar mais baixo e com melhor armadura, por exemplo, ou melhorar a qualidade do projecto e da execução e o nível de manutenção. Neste caso, a fase de projecto é ainda mais importante e deve providenciar níveis satisfatórios dos factores modificadores, uma vez que a vida útil de referência do material é igual à durabilidade definida no documento guia GD 002 [4].

Quadro 6.40 – Índices aplicáveis para avaliar a VUE da membrana na cidade do Porto.

Estimativa da vida útil de uma membrana aparente auto-protegida de betume polímero APP de uma cobertura plana de um edifício de habitação na cidade do Porto				
Factor Modificador	Descrição do factor modificador		Índice aplicável	Média aritmética
Factor A	A ₁	Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0	1,00
	A ₂	Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0	
	A ₄	Membrana armada com feltro de poliéster de, pelo menos, 150 g/m ²	1,0	
Factor B	B ₁	Soluções adequadas e pormenorização geral	1,0	0,95
	B ₄	Inexistência de caminhos de circulação	0,8	
	B ₅	Largura das juntas igual à recomendada para a membrana	1,0	
	B ₇	Juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura e com interrupção da camada de protecção rígida e/ou da membrana	1,0	
Factor C	C ₁	Mão-de-obra qualificada	1,0	0,95
	C ₂	Fiscalização inexistente	0,9	
Factor D	Não aplicável			
Factor E	E ₃	Membrana localizada na zona V1, com α_s superior a 0,7	1,0	0,95
	E ₄	Edifícios localizados na zona P2	1,0	
	E ₅	Pressão dinâmica do vento: $1000 < w \leq 1300$ Pa	1,0	
	E ₆	Cobertura com estrutura resistente em betão armado, sem protecção pesada	1,0	
	E ₇	Cobertura com platibandas de altura entre 0,5 e 1 m	1,0	
	E ₈	Atmosfera E7	0,8	
Factor F	Não aplicável			
Factor G	G ₁	Realização de todas as operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0	1,00

A vida útil estimada para a membrana, se for aplicada na cidade do Porto, é de 8,6 anos.

$$VUE = 10 \times 1,00 \times 0,95 \times 0,95 \times 0,95 \times 1,00 = 8,6 \text{ anos}$$

Quadro 6.41 – Índices aplicáveis para avaliar a VUE da membrana na cidade de Bragança.

Estimativa da vida útil de uma membrana aparente auto-protegida de betume polímero APP de uma cobertura plana de um edifício de habitação na cidade de Bragança				
Factor Modificador	Descrição do factor modificador		Índice aplicável	Média aritmética
Factor A	A ₁	Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0	1,00
	A ₂	Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0	
	A ₄	Membrana armada com feltro de poliéster de, pelo menos, 150 g/m ²	1,0	
Factor B	B ₁	Soluções adequadas e pormenorização geral	1,0	0,95
	B ₄	Inexistência de caminhos de circulação	0,8	
	B ₅	Largura das juntas igual à recomendada para a membrana	1,0	
	B ₇	Juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura e com interrupção da camada de protecção rígida e/ou da membrana	1,0	
Factor C	C ₁	Mão-de-obra qualificada	1,0	0,95
	C ₂	Fiscalização inexistente	0,9	
Factor D	Não aplicável			
Factor E	E ₃	Membrana localizada na zona V2, com α s superior a 0,7	0,8	0,99
	E ₄	Edifícios localizados na zona P2	1,0	
	E ₅	Pressão dinâmica do vento: $w > 1300$ Pa	0,9	
	E ₆	Cobertura com estrutura resistente em betão armado, sem protecção pesada	1,0	
	E ₇	Cobertura com platibandas de altura entre 0,5 e 1 m	1,0	
	E ₈	Atmosfera E1	1,2	
Factor F	Não aplicável			
Factor G	G ₁	Realização de todas as operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0	1,00

Se a membrana for aplicada na cidade de Bragança, o valor da vida útil estimada é de 8,9 anos.

$$VUE = 10 \times 1,00 \times 0,95 \times 0,95 \times 0,99 \times 1,00 = 8,9 \text{ anos}$$

Quadro 6.42 – Índices aplicáveis para avaliar a VUE da membrana na cidade de Lisboa.

Estimativa da vida útil de uma membrana aparente auto-protegida de betume polímero APP de uma cobertura plana de um edifício de habitação na cidade de Lisboa				
Factor Modificador	Descrição do factor modificador		Índice aplicável	Média aritmética
Factor A	A ₁	Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0	1,00
	A ₂	Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0	
	A ₄	Membrana armada com feltro de poliéster de, pelo menos, 150 g/m ²	1,0	
Factor B	B ₁	Soluções adequadas e pormenorização geral	1,0	0,95
	B ₄	Inexistência de caminhos de circulação	0,8	
	B ₅	Largura das juntas igual à recomendada para a membrana	1,0	
	B ₇	Juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura e com interrupção da camada de protecção rígida e/ou da membrana	1,0	
Factor C	C ₁	Mão-de-obra qualificada	1,0	0,95
	C ₂	Fiscalização inexistente	0,9	
Factor D	Não aplicável			
Factor E	E ₃	Membrana localizada na zona V2, com α s superior a 0,7	0,8	0,90
	E ₄	Edifícios localizados na zona P2	1,0	
	E ₅	Pressão dinâmica do vento: $1000 < w \leq 1300$ Pa	1,0	
	E ₆	Cobertura com estrutura resistente em betão armado, sem protecção pesada	1,0	
	E ₇	Cobertura com platibandas de altura superior a 1 m	1,0	
	E ₈	Atmosfera E7	0,8	
Factor F	Não aplicável			
Factor G	G ₁	Realização de todas as operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0	1,00

Finalmente, no caso da membrana ser aplicada na cidade de Lisboa, a vida útil estimada é de 8,1 anos.

$$VUE = 10 \times 1,00 \times 0,95 \times 0,95 \times 0,90 \times 1,00 = 8,1 \text{ anos}$$

Para os três casos analisados, caso não sejam feitas alterações em fase de projecto que satisfaçam a durabilidade exigida pelo documento guia GD 002 [4], o material não deverá ser aplicado na cobertura, devendo optar-se por outra solução.

Quadro 6.43 – Alteração dos índices aplicáveis para avaliar a VUE da membrana na cidade de Lisboa.

Estimativa da vida útil de uma membrana aparente auto-protegida de betume polímero APP de uma cobertura plana de um edifício de habitação na cidade de Lisboa			
Factor Modificador	Descrição do factor modificador		Índice aplicável
Factor A	A ₁	Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0
	A ₂	Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0
	A ₄	Membrana armada com feltro de poliéster de 250 g/m ² ou armada com feltros de poliéster e de fibra de vidro	1,2
Factor B	B ₁	Soluções adequadas e pormenorização cuidada	1,2
	B ₄	Inexistência de caminhos de circulação	1,0
	B ₅	Largura das juntas igual à recomendada para a membrana	1,0
	B ₇	Juntas de dilatação sobreelevadas e com interrupção da membrana	1,2
Factor C	C ₁	Mão-de-obra qualificada	1,0
	C ₂	Fiscalização inexistente	0,9
Factor D	Não aplicável		
Factor E	E ₃	Membrana localizada na zona V2, com α s superior a 0,7	0,8
	E ₄	Edifícios localizados na zona P2	1,0
	E ₅	Pressão dinâmica do vento: $1000 < w \leq 1300$ Pa	1,0
	E ₆	Cobertura com estrutura resistente em betão armado, sem protecção pesada	1,0
	E ₇	Cobertura com platibandas de altura superior a 1 m	1,0
	E ₈	Atmosfera E7	0,8
Factor F	Não aplicável		
Factor G	G ₁	Realização de todas as operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0

Assim, para atingir a durabilidade de 10 anos, de acordo com o documento guia GD 002 [4], são feitas algumas recomendações para o caso da membrana se localizar na cidade de Lisboa, visto ser este o caso mais desfavorável. São feitas alterações ao nível da qualidade do material (Factor A) e ao nível da qualidade do projecto (Factor B), por serem mais fáceis de garantir pelo projectista.

A escolha dos sub-factores a alterar não é aleatória e deverá ter em conta os efeitos sobre os sub-factores referentes às características exteriores. A simples majoração do índice aplicável a diferentes sub-factores, embora apresente um incremento teórico no cálculo da vida útil estimada dos materiais, pode não ser realmente vantajosa, tendo em conta que uma alteração num sub-factor poderá não alterar a influência negativa das condições exteriores sobre a durabilidade dos materiais. Recomenda-se, por isso, uma estratégia tecnológica e criteriosa das alterações a efectuar para o incremento da vida útil dos materiais.

Tal como mostra o Quadro 6.43, a opção por uma membrana de betume polímero APP auto-protegida, armada com um feltro de políester de 250 g/m² (A₄), a melhoria das soluções e pormenorização cuidada dos pontos de evacuação de águas pluviais e da ligação do revestimento de impermeabilização com os elementos emergentes (B₁), a previsão de caminhos de circulação (B₄) e de juntas de dilatação sobreelevadas (B₇) aumentam a durabilidade da membrana para 10,1 anos, tal como pretendido.

$$VUE = 10 \times 1,07 \times 1,10 \times 0,95 \times 0,90 \times 1,00 = 10,1 \text{ anos}$$

Como alternativa, procurando ainda aplicar uma membrana auto-protegida de betume polímero APP na cidade de Lisboa e no sentido de assegurar uma durabilidade de 10 anos para a membrana, mantendo as condições iniciais aplicadas aos três casos analisados, a vida útil de referência da membrana, baseada em dados do fabricante, Documentos de Homologação ou ensaios de laboratório, teria de ser, pelo menos, de 12,3 anos.

$$VUR = \frac{10}{1,00 \times 0,95 \times 0,95 \times 0,90 \times 1,00} = 12,3 \text{ anos}$$

Importa salientar que se a opção recaísse sobre uma membrana termoplástica ou elastomérica aderida ao suporte, as diferenças na aplicação do método em relação à membrana betuminosa só se verificariam no factor A₃ e E₃, tal como se mostra em anexo na Matriz de Durabilidade aplicável a este caso e, uma vez que estas membranas apresentam normalmente maiores valores de vida útil de referência, estaria assegurada a durabilidade mínima de 10 anos para a membrana.

7

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES

O estudo da durabilidade dos produtos da construção tem registado um forte desenvolvimento ao longo dos últimos anos, procurando ser uma ferramenta muito útil aos projectistas para permitir a selecção de determinada solução construtiva e estabelecer o calendário para a execução dos trabalhos de manutenção e substituição do produto.

A quantificação da durabilidade dos revestimentos de coberturas planas exigiu o conhecimento das suas características, das tecnologias de aplicação, das patologias e dos agentes e mecanismos de degradação que mais interferem na durabilidade destes produtos.

O Método Factorial, embora bastante utilizado, apresenta algumas limitações, como o facto de assumir um ritmo de degradação constante para os materiais, o que não se verifica na realidade, de não ter em conta a sinergia existente entre os vários factores e, ainda, de atribuir igual cotação aos diferentes factores modificadores, podendo alguns ter uma influência mais significativa sobre a durabilidade de determinado produto do que outros. Estas limitações podem ser ultrapassadas com a produção de bases de dados que contribuam para a optimização do método.

Os três casos práticos apresentados pretenderam demonstrar a facilidade de aplicação do Método Factorial e a influência da variação de apenas um factor modificador na avaliação da durabilidade de um produto, neste caso, da membrana de impermeabilização. A aplicação do método também pretendeu demonstrar que nas zonas do país onde a degradação provocada pelo ambiente exterior é mais acentuada, para o mesmo tipo de revestimento e para atingir a mesma durabilidade, devem ser previstos melhores níveis de qualidade dos restantes factores modificadores para compensar o efeito desfavorável associado à localização do edifício.

As principais dificuldades encontradas ao longo da realização desta tese foram a reduzida informação disponível sobre ladrilhos hidráulicos, por serem um material com aplicação reduzida, e a falta de informação suficiente sobre alguns tipos de membranas que permitisse uma melhor comparação entre elas. Verificou-se ainda alguma dificuldade na obtenção da vida útil de referência dos revestimentos. Em relação a este último aspecto deveria haver maior empenho e colaboração por parte dos fabricantes destes produtos no sentido de indicarem a vida útil de referência e as condições padrão consideradas, para uma correcta aplicação do Método Factorial. Também a atribuição dos valores dos índices baseada na informação recolhida revelou alguma complexidade, optando-se por atribuir valores mais próximos da unidade nos casos em que essa informação era diminuta.

É fundamental continuar a desenvolver métodos de avaliação da durabilidade dos produtos da construção, como forma de melhoria da qualidade e sustentabilidade dos edifícios.

Espera-se que as considerações feitas neste estudo possam contribuir para incrementar o desempenho e a durabilidade dos revestimentos de coberturas planas.

7.2. PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Tendo como base o trabalho desenvolvido, sugerem-se nesta secção algumas linhas para o desenvolvimento de estudos futuros relativos ao comportamento de revestimentos de coberturas planas.

Considera-se importante a realização de ensaios para determinar com maior rigor a influência dos agentes atmosféricos sobre os vários tipos de membranas apresentadas e, desta forma, otimizar os valores atribuídos a este factor. Assim, para cada tipo de membrana, deveriam realizar-se ensaios para avaliar o comportamento à acção da temperatura, da água e da radiação ultravioleta. Deveria também ser analisada com maior precisão a influência da largura e do processo de aderência das juntas de sobreposição na resistência à tracção-corte e à pelagem.

Os estudos de inspecção de edifícios poderão permitir a compreensão do desempenho e durabilidade dos revestimentos de coberturas planas e constituir uma base estatística fundamental para a correlação entre os agentes de degradação e as patologias mais frequentes, e para a validação das Matrizes de Durabilidade.

Para uma completa avaliação da durabilidade dos revestimentos de coberturas planas seria importante estender a análise a coberturas planas de outros tipos, como as coberturas acessíveis a veículos e as coberturas ajardinadas. A betonilha é um revestimento de coberturas planas bastante utilizado e, por isso, seria importante aplicar o mesmo procedimento a este produto.

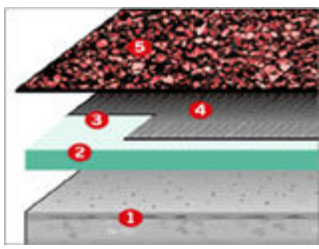
REFERÊNCIAS

- [1] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) – *Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles*. ISO 15686-1. Switzerland, 2001.
- [2] GASPAR, Pedro Manuel dos Santos Lima. *Metodologia para o cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Construção. IST, Lisboa, 2002.
- [3] CORVACHO, Maria Helena. *Durabilidade da Construção: Metodologia do projecto para a durabilidade – planeamento da vida útil de um edifício*. Textos de apoio à disciplina de Patologia da Construção. MRPE. Porto, FEUP, 2000.
- [4] EUROPEAN ORGANIZATION FOR TECHNICAL APPROVALS (EOTA). *Assumption of working life of construction products in Guidelines for European Technical Approval, European Technical Approvals and Harmonized Standards – Guidance Document 002*. EOTA, December 1999.
- [5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) – *Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 2: Service life prediction procedures*. ISO 15686-2. Switzerland, 2001.
- [6] MOSER, Konrad. *Towards the Practical Evaluation of Service Life – Illustrative Application of the Probabilistic Approach* – In 8th Int. Conference on Durability of Building Materials & Components. Vancouver, 1999, pp. 1319–1329.
- [7] LOPES, Jorge M. Grandão. *Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas em Terraço*. Informação Técnica Edifícios, ITE 34. LNEC, Lisboa, 1994.
- [8] Decreto-Lei nº 38382, de 7 de Agosto de 1951, *Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU)*. Lisboa, Imprensa Nacional – Casa da Moeda, 1988.
- [9] <http://feuptografia.wordpress.com/category/exteriores/>. 10/05/09.
- [10] UNION EUROPÉENNE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION (UEAtc) – Directives générales UEAtc pour l'agrément des revêtements d'étanchéité de toitures. Paris, UEAtc, juillet 1982. Cahiers du CSTB, Paris, (234), Cahier 1812, Novembre 1982.
- [11] <http://www.a2a.pt/sistemas/coberturas.html>. 10/05/09.
- [12] SILVA, Raul José Nobre Ribeiro. *O efeito da sucção do vento em coberturas em terraço. Aplicação experimental ao caso de sistemas de impermeabilização fixados mecanicamente*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. IST, Lisboa, 2008.
- [13] MASCARENHAS, Jorge. *Sistemas de Construção: IV – Coberturas Planas, Juntas; Materiais Básicos (2ª parte): Materiais Ferrosos e Alumínio*. Livros Horizonte, Lisboa, 2003.
- [14] GONÇALVES, Maria Manuela da Silva Eliseu Ilharco. *Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço com base em membranas prefabricadas – Comportamento de juntas de sobreposição*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Construção. IST, Lisboa, 2004.
- [15] <http://www.sotecnisol.pt/>. 16/04/09.
- [16] NP EN 14411 – *Pavimentos e revestimentos cerâmicos – Definições, classificação, características e marcação*: 2008.

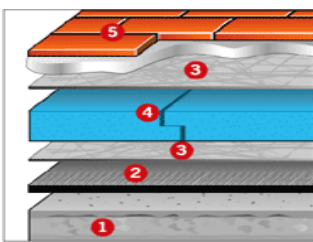
- [17] FREITAS, Vasco Peixoto de, SOUSA, Augusto Vaz Serra e, SILVA, J. A. Raimundo Mendes da. *Manual de Aplicação de Revestimentos Cerâmicos*. Coimbra, Março de 2003.
- [18] LUCAS, J. A. Carvalho. *Azulejos e ladrilhos cerâmicos*. ITMC 33. LNEC, Lisboa, 1986.
- [19] NP EN 12004 – *Colas para ladrilhos – Requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação*: 2008.
- [20] EN 13748-2 – *Terrazzo tiles – Part 2: Terrazzo tiles for external use*: 2004.
- [21] http://www.solucoesparacidades.org.br/solucoesparacidades/passeio_publico/tipos_calçada/pdf/M anualLadrilhoHidraulico.pdf. 16/04/09.
- [22] http://www.soplacas.pt/images/img_n2/Cat%C3%A1logo%20Pavimentos.pdf. 18/04/09.
- [23] www.lnec.pt. 25/03/09.
- [24] http://www.soplacas.pt/pag_int_products_dentro.asp?id_nivel2=8&id_nivel3=54&opc=54&link=8. 18/04/09.
- [25] EN 1339 – *Concrete paving flags – Requirements and test methods*: 2003.
- [26] NP EN 12825 – *Pavimentos sobreelevados*: 2008.
- [27] NP EN 13707 – *Membranas de impermeabilização flexíveis – Membranas betuminosas armadas para impermeabilização de coberturas – Definições e características*: 2005
- [28] EN 13956 – *Flexible sheet for waterproofing – Plastic and rubber sheets for roof waterproofing – Definitions and characteristics*: 2005.
- [29] Directiva Europeia 89/106/CEE – Directiva dos Produtos da Construção (DPC). Jornal Oficial das Comunidades Europeias nº L 40 de 11/02/89, alterada pela Directiva 93/68/CE, publicada no Jornal Oficial das Comunidades Europeias nº L 220 de 30/08/93. Bruxelas, 1993.
- [30] SILVA, J. Mendes, GONÇALVES, Pedro. *Patologias frequentes em coberturas planas em Portugal*. Congresso Nacional da Construção, IST, Lisboa, Dezembro 2001.
- [31] ROCHA, Pedro Tomé da. *Anomalias em coberturas de terraço e inclinadas*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. IST, Lisboa, 2008.
- [32] LOPES, Jorge M. Grandão. *Anomalias em Impermeabilizações de Coberturas em Terraço*. Informação Técnica Edifícios, ITE 33. LNEC, Lisboa, 1994.
- [33] SÁ, Ana Margarida Vaz Duarte Oliveira e. *Durabilidade de cimentos-cola em revestimentos cerâmicos aderentes a fachadas*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Construção de Edifícios. FEUP, Porto, 2005.
- [34] LUCAS, J. Carvalho, ABREU, M. Patologia e Reabilitação das Construções. *Revestimentos Cerâmicos Colados. Descolamento*. ITPRC 4. LNEC, Lisboa, 2005.
- [35] LUCAS, J. Carvalho. *Anomalias em Revestimentos Cerâmicos Colados*. ITMC 28, LNEC, Lisboa, 2001.
- [36] FREITAS, Vasco Peixoto de, Pinto, Manuel. *Metodologia para a Definição Exigencial de Isolantes Térmicos*. Nota de Informação Técnica (NIT) – 001. Porto, 1997.
- [37] <http://building.dow.com>. 20/03/09.

- [38] MATOS, Maria José da Silva. *Durabilidade como critério de projecto – O Método Factorial no contexto português*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Reabilitação do Património Edificado. FEUP, Porto, 2007.
- [39] Decreto-Lei nº 80/2006. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. Diário da República (D. R.) - I Série A. Lisboa, 4 de Abril.
- [40] ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE INDUSTRIAIS DE CERÂMICA E CONSTRUÇÃO. *Manual de Aplicação de Telhas Cerâmicas*. APICER. Coimbra, 1998.
- [41] BASKARAN, A., SMITH, T. L. *A Guide for the Wind Design of Mechanically Attached Flexible Membrane Roofs*. National Research Council of Canada. Institute for Research in Construction. Ottawa, 2005.
- [42] Decreto-Lei nº 235/83. Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA). D. R. – I Série. Lisboa, 31 de Maio.
- [43] LOPES, Jorge M. Grandão. *Patologia em Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas Fixados Mecanicamente*. 1º encontro nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto, 2003.
- [44] NF P24-351 – Menuiserie métallique – Fenêtres, façades rideaux, semi-rideaux, panneaux à ossature métallique: Protection contre la corrosion et préservation des états de surface. AFNOR. Paris, 1997.
- [45] NASCIMENTO, José Martins do. *Classificação Funcional dos Revestimentos de Piso e dos Locais*. Informação Técnica de Edifícios (ITE) – 29. LNEC, Lisboa, 1991.
- [46] GOMES, Ruy José. *Coberturas em Terraço*. Informação Técnica Edifícios, ITE 1. LNEC, Lisboa, 1968.
- [47] PAIVA, José A. Vasconcelos. *Regulamentação – Directiva dos Produtos de Construção, Marcação CE e Livre Circulação dos Produtos*. Engenharia e Vida nº 16, Setembro de 2005, pp. 58-63, Lisboa.
- [48] <http://www.texsa.pt/>. 22/03/09.
- [49] <http://www.imperialum.com/>. 22/03/09.
- [50] <http://www.construlink.com/>. 22/03/09.

ANEXO A – MATRIZES DE DURABILIDADE

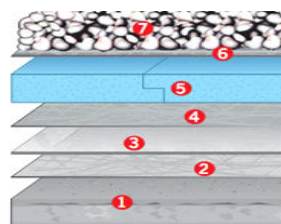
Durabilidade de uma membrana de impermeabilização aparente de uma cobertura não-acessível			
Factor A	A ₁ - Declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	Índice aplicável	Média
	Com declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	1,2	
	Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0	
	A ₂ - Características do isolamento térmico	Índice aplicável	
	Isolamento térmico com classificação ISOLE superior à recomendada para o tipo de cobertura	1,2	
	Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0	
	Isolamento térmico com classificação ISOLE inferior à recomendada para o tipo de cobertura	0,8	
	A ₃ - Presença de armadura na membrana (*)	Índice aplicável	
	Membrana armada	1,1	
	Membrana não armada	1,0	
	(*) - Aplicável apenas a membranas termoplásticas ou elastoméricas		
	A ₄ - Tipo de armadura da membrana betuminosa (*)	Índice aplicável	
	Membrana armada com feltro de poliéster de 250 g/m ² ou armada com feltros de poliéster e de fibra de vidro	1,2	
	Membrana armada com feltro de poliéster de, pelo menos, 150 g/m ²	1,0	
	Membrana armada com feltro de fibra de vidro	0,8	
	(*) - Aplicável apenas a membranas betuminosas		
Factor B	B ₁ - Qualidade e nível de pormenorização construtiva do projecto	Índice aplicável	
	Soluções adequadas e pormenorização cuidada	1,2	
	Soluções adequadas e pormenorização geral	1,0	
	Soluções inadequadas ou deficiente pormenorização	0,8	
	B ₄ - Caminhos de circulação	Índice aplicável	
	Existência de caminhos de circulação que permitem o acesso a todos os pontos de inspecção	1,2	
	Existência de caminhos de circulação que permitem o acesso aos pontos de inspecção principais	1,0	
	Inexistência de caminhos de circulação	0,8	
	B ₅ - Juntas de sobreposição das membranas	Índice aplicável	
	Largura das juntas superior à recomendada para a membrana	1,2	
	Largura das juntas igual à recomendada para a membrana	1,0	
	Largura das juntas inferior à recomendada para a membrana	0,8	
	B ₆ - Sistema de fixação mecânica ao suporte (*)	Índice aplicável	
	Membranas fixadas linearmente ao suporte	1,2	
	Membranas fixadas pontualmente ao suporte	1,0	
	(*) - Aplicável apenas a sistemas fixados mecanicamente ao suporte		
	B ₇ - Juntas de dilatação	Índice aplicável	
	Juntas de dilatação sobreelevadas e com interrupção da membrana	1,2	
	Juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura e com interrupção da camada de protecção rígida e/ou da membrana	1,0	
	Colocação de camada de protecção rígida e/ou membrana sem interrupção sobre a junta de dilatação	0,8	

Factor C	C ₁ - Qualificação da mão-de-obra (*)	Índice aplicável
	Mão-de-obra qualificada e experiente	1,2
	Mão-de-obra qualificada	1,0
	Mão-de-obra não qualificada e inexperiente	0,8
	(*) - Substituir o valor de 1,2 por 1,1 e de 0,8 por 0,9 em membranas betuminosas	
	C ₂ - Regularidade da Fiscalização em obra (*)	Índice aplicável
	Fiscalização pontual	1,2
	Fiscalização permanente	1,0
	Fiscalização inexistente	0,8
	(*) - Substituir o valor de 1,2 por 1,1 e de 0,8 por 0,9 em membranas betuminosas	
Factor D	Não aplicável	
Factor E	E ₃ - Acção da temperatura em membranas aparentes(*)	Índice aplicável
	Membranas localizadas na zona V1 ou V2, com valores de Δt entre 0,2 e 0,3	1,2
	Membranas sujeitas às restantes situações	1,0
	Membranas localizadas na zona V2 ou V3, com valores de Δt superiores a 0,7	0,8
	(*) - Substituir 1,2 por 1,1 e 0,8 por 0,9 em membranas de TPO, EPDM, borracha butílica e PIB	
	E ₄ - Zonas de precipitação	Índice aplicável
	Edifícios localizados na zona P1	1,2
	Edifícios localizados na zona P2	1,0
	Edifícios localizados na zona P3	0,8
	E ₅ - Localização da cobertura face às acções do vento	Índice aplicável
	Pressão dinâmica do vento: $w \leq 1000$ Pa	1,1
	Pressão dinâmica do vento: $1000 < w \leq 1300$ Pa	1,0
	Pressão dinâmica do vento: $w > 1300$ Pa	0,9
	E ₆ - Estanquidade ao ar da estrutura resistente	Índice aplicável
	Cobertura com protecção pesada	1,2
	Cobertura com estrutura resistente em betão armado, sem protecção pesada	1,0
	Cobertura com estrutura resistente em chapas metálicas nervuradas ou pranchas de madeira, sem protecção pesada	0,8
	E ₇ - Altura das platibandas	Índice aplicável
	Cobertura com platibandas de altura superior a 1 m	1,2
	Cobertura com platibandas de altura entre 0,5 e 1 m	1,0
	Cobertura sem platibanda ou com platibanda de altura inferior a 0,5 m	0,8
	E ₈ - Características da atmosfera	Índice aplicável
	Atmosfera E1*, E2*, E1+E4 ou E2+E4	1,2
	Atmosfera E3*, E3+E4, E1+E5 ou E2+E5	1,0
	Atmosfera E3+E5, E1+E6, E7, E8 ou E9	0,8
Factor F	Não aplicável	
Factor G	G ₁ - Frequência da manutenção	Índice aplicável
	Realização de todas as operações de manutenção com a periodicidade definida no Quadro 6.38	1,2
	Realização de todas as operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0
	Ausência de manutenção ou realização de apenas algumas operações de manutenção ou com periodicidade superior a 2 anos	0,8

Durabilidade de uma membrana de impermeabilização de uma cobertura com protecção pesada rígida			
Factor A	A ₁ - Declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	Índice aplicável	Média
	Com declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	1,2	
	Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0	
	A ₂ - Características do isolamento térmico	Índice aplicável	
	Isolamento térmico com classificação ISOLE superior à recomendada para o tipo de cobertura	1,2	
	Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0	
	Isolamento térmico com classificação ISOLE inferior à recomendada para o tipo de cobertura	0,8	
	A ₃ - Presença de armadura na membrana (*)	Índice aplicável	
	Membrana armada	1,1	
	Membrana não armada	1,0	
	(*) - Aplicável apenas a membranas termoplásticas ou elastoméricas		
	A ₄ - Tipo de armadura da membrana betuminosa (*)	Índice aplicável	
	Membrana armada com feltro de poliéster de 250 g/m ² ou armada com feltros de poliéster e de fibra de vidro	1,2	
	Membrana armada com feltro de poliéster de, pelo menos, 150 g/m ²	1,0	
	Membrana armada com feltro de fibra de vidro	0,8	
	(*) - Aplicável apenas a membranas betuminosas		
Factor B	B ₁ - Qualidade e nível de pormenorização construtiva do projecto	Índice aplicável	
	Soluções adequadas e pormenorização cuidada	1,2	
	Soluções adequadas e pormenorização geral	1,0	
	Soluções inadequadas ou deficiente pormenorização	0,8	
	B ₂ - Posição do isolamento térmico	Índice aplicável	
	Cobertura invertida com protecção pesada	1,2	
	Cobertura tradicional com protecção pesada	1,0	
	B ₃ - Camada de dessolidarização e barreira de separação química	Índice aplicável	
	Membrana dessolidarizada e quimicamente protegida	1,2	
	Membrana aderente ao suporte e/ou protecção pesada e quimicamente protegida	1,0	
	Membrana aderente ao suporte e/ou protecção pesada e quimicamente desprotegida	0,8	
	B ₅ - Juntas de sobreposição das membranas	Índice aplicável	
	Largura das juntas superior à recomendada para a membrana	1,2	
	Largura das juntas igual à recomendada para a membrana	1,0	
	Largura das juntas inferior à recomendada para a membrana	0,8	
	B ₇ - Juntas de dilatação	Índice aplicável	
	Juntas de dilatação sobreelevadas e com interrupção da membrana	1,2	
	Juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura e com interrupção da camada de protecção rígida e/ou da membrana	1,0	
	Colocação de camada de protecção rígida e/ou membrana sem interrupção sobre a junta de dilatação	0,8	

Factor C	C ₁ - Qualificação da mão-de-obra (*)	Índice aplicável
	Mão-de-obra qualificada e experiente	1,2
	Mão-de-obra qualificada	1,0
	Mão-de-obra não qualificada e inexperiente	0,8
	(*) - Substituir o valor de 1,2 por 1,1 e de 0,8 por 0,9 em membranas betuminosas	
	C ₂ - Regularidade da Fiscalização em obra (*)	Índice aplicável
	Fiscalização pontual	1,2
	Fiscalização permanente	1,0
	Fiscalização inexistente	0,8
	(*) - Substituir o valor de 1,2 por 1,1 e de 0,8 por 0,9 em membranas betuminosas	
Factor D	Não aplicável	
Factor E	E ₁ - Zonas climáticas (*)	Índice aplicável
	Edifícios localizados nas zonas I1 e V1	1,2
	Edifícios localizados nas restantes zonas	1,0
	Edifícios localizados nas zonas I3 e V3	0,8
	(*) - Aplicável apenas em coberturas tradicionais	
	E ₄ - Zonas de precipitação	Índice aplicável
	Edifícios localizados na zona P1	1,2
	Edifícios localizados na zona P2	1,0
	Edifícios localizados na zona P3	0,8
Factor F	Não aplicável	
Factor G	G ₁ - Frequência da manutenção	Índice aplicável
	Realização de todas as operações de manutenção com a periodicidade definida no Quadro 6.38	1,2
	Realização de todas as operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0
	Ausência de manutenção ou realização de apenas algumas operações de manutenção ou com periodicidade superior a 2 anos	0,8

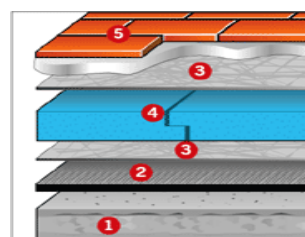
Durabilidade de uma membrana de impermeabilização de uma cobertura com protecção pesada solta



Factor A	A ₁ - Declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	Índice aplicável	Média	
	Com declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	1,2		
	Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0		
	A ₂ - Características do isolamento térmico	Índice aplicável		
	Isolamento térmico com classificação ISOLE superior à recomendada para o tipo de cobertura	1,2		
	Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0		
	Isolamento térmico com classificação ISOLE inferior à recomendada para o tipo de cobertura	0,8		
	A ₃ - Presença de armadura na membrana (*)	Índice aplicável		
	Membrana armada	1,1		
	Membrana não armada	1,0		
	(*) - Aplicável apenas a membranas termoplásticas ou elastoméricas			
	A ₄ - Tipo de armadura da membrana betuminosa (*)	Índice aplicável		
	Membrana armada com feltro de poliéster de 250 g/m ² ou armada com feltros de poliéster e de fibra de vidro	1,2		
	Membrana armada com feltro de poliéster de, pelo menos, 150 g/m ²	1,0		
	Membrana armada com feltro de fibra de vidro	0,8		
(*) - Aplicável apenas a membranas betuminosas				
Factor B	B ₁ - Qualidade e nível de pormenorização construtiva do projecto	Índice aplicável		
	Soluções adequadas e pormenorização cuidada	1,2		
	Soluções adequadas e pormenorização geral	1,0		
	Soluções inadequadas ou deficiente pormenorização	0,8		
	B ₂ - Posição do isolamento térmico	Índice aplicável		
	Cobertura invertida com protecção pesada	1,2		
	Cobertura tradicional com protecção pesada	1,0		
	B ₃ - Camada de dessolidarização e barreira de separação química	Índice aplicável		
	Membrana dessolidarizada e quimicamente protegida	1,2		
	Membrana aderente ao suporte e/ou protecção pesada e quimicamente protegida	1,0		
	Membrana aderente ao suporte e/ou protecção pesada e quimicamente desprotegida	0,8		
	B ₄ - Caminhos de circulação	Índice aplicável		
	Existência de caminhos de circulação que permitem o acesso a todos os pontos de inspecção	1,2		
	Existência de caminhos de circulação que permitem o acesso aos pontos de inspecção principais	1,0		
	Inexistência de caminhos de circulação	0,8		
	B ₅ - Juntas de sobreposição das membranas	Índice aplicável		
	Largura das juntas superior à recomendada para a membrana	1,2		
	Largura das juntas igual à recomendada para a membrana	1,0		
	Largura das juntas inferior à recomendada para a membrana	0,8		
	B ₇ - Juntas de dilatação	Índice aplicável		
	Juntas de dilatação sobreelevadas e com interrupção da	1,2		
Juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura e com interrupção da camada de protecção rígida e/ou da membrana	1,0			
Colocação de camada de protecção rígida e/ou membrana sem interrupção sobre a junta de dilatação	0,8			

Factor C	C ₁ - Qualificação da mão-de-obra (*)	Índice aplicável
	Mão-de-obra qualificada e experiente	1,2
	Mão-de-obra qualificada	1,0
	Mão-de-obra não qualificada e inexperiente	0,8
	(*) - Substituir o valor de 1,2 por 1,1 e de 0,8 por 0,9 em membranas betuminosas	
	C ₂ - Regularidade da Fiscalização em obra (*)	Índice aplicável
	Fiscalização pontual	1,2
	Fiscalização permanente	1,0
	Fiscalização inexistente	0,8
	(*) - Substituir o valor de 1,2 por 1,1 e de 0,8 por 0,9 em membranas betuminosas	
Factor D	Não aplicável	
Factor E	E ₁ - Zonas climáticas	Índice aplicável
	Edifícios localizados nas zonas I1 e V1	1,2
	Edifícios localizados nas restantes zonas	1,0
	Edifícios localizados nas zonas I3 e V3	0,8
	E ₄ - Zonas de precipitação	Índice aplicável
	Edifícios localizados na zona P1	1,2
	Edifícios localizados na zona P2	1,0
	Edifícios localizados na zona P3	0,8
	E ₅ - Localização da cobertura face às acções do vento	Índice aplicável
	Pressão dinâmica do vento: $w \leq 1000$ Pa	1,2
	Pressão dinâmica do vento: $1000 < w \leq 1300$ Pa	1,0
	Pressão dinâmica do vento: $w > 1300$ Pa	0,8
	E ₆ - Estanquidade ao ar da estrutura resistente	Índice aplicável
	Cobertura com protecção pesada	1,2
	Cobertura com estrutura resistente em betão armado, sem protecção pesada	1,0
	Cobertura com estrutura resistente em chapas metálicas nervuradas ou pranchas de madeira, sem protecção pesada	0,8
	E ₇ - Altura das platibandas	Índice aplicável
	Cobertura com platibandas de altura superior a 1 m	1,2
	Cobertura com platibandas de altura entre 0,5 e 1 m	1,0
	Cobertura sem platibanda ou com platibanda de altura inferior a 0,5 m	0,8
Factor F	Não aplicável	
Factor G	G ₁ - Frequência da manutenção	Índice aplicável
	Realização de todas as operações de manutenção com a periodicidade definida no Quadro 6.38	1,2
	Realização de todas as operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0
	Ausência de manutenção ou realização de apenas algumas operações de manutenção ou com periodicidade superior a 2 anos	0,8

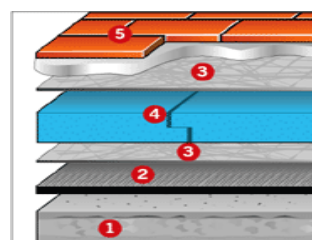
Durabilidade do revestimento cerâmico de uma cobertura plana



Factor A	A₁ - Declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	Índice aplicável	Média
	Com declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	1,2	
	Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0	
	A₂ - Características do isolamento térmico	Índice aplicável	
	Isolamento térmico com classificação ISOLE superior à recomendada para o tipo de cobertura	1,2	
	Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0	
	Isolamento térmico com classificação ISOLE inferior à recomendada para o tipo de cobertura	0,8	
	A₅ - Características do produto de colagem	Índice aplicável	
	Cimento-cola da classe C2S	1,2	
	Argamassa tradicional com traço 1:3 ou 1:4 ou cimento-cola da classe C2	1,0	
	Argamassa tradicional com outro traço ou cimento-cola da classe C1	0,8	
	A₆ - Características dos ladrilhos cerâmicos	Índice aplicável	
	Ladrilhos com absorção de água: $E \leq 0,5\%$	1,2	
	Ladrilhos com absorção de água: $0,5\% < E \leq 3\%$	1,0	
	Ladrilhos com absorção de água: $E > 3\%$	0,8	
	A₇ - Resistência ao escorregamento	Índice aplicável	
	Ladrilhos com coeficientes de atrito dinâmico e estático superiores a 0,4 e 0,5, respectivamente.	1,2	
	Ladrilhos com coeficientes de atrito dinâmico e estático iguais a 0,4 e 0,5, respectivamente.	1,0	
	Ladrilhos com coeficientes de atrito dinâmico e estático inferiores a 0,4 e 0,5, respectivamente.	0,8	
Factor B	B₁ - Qualidade e nível de pormenorização construtiva do projecto	Índice aplicável	
	Soluções adequadas e pormenorização cuidada	1,2	
	Soluções adequadas e pormenorização geral	1,0	
	Soluções inadequadas ou deficiente pormenorização	0,8	
	B₇ - Juntas de dilatação	Índice aplicável	
	Juntas de dilatação sobreelevadas e com interrupção da membrana	1,2	
	Juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura e com interrupção da camada de protecção rígida e/ou da membrana	1,0	
	Colocação de camada de protecção rígida e/ou membrana sem interrupção sobre a junta de dilatação	0,8	
	B₈ - Juntas de fraccionamento	Índice aplicável	
	Juntas de fraccionamento espaçadas menos de 4 m e formando superfícies com área inferior a 10 m ²	1,2	
	Juntas de fraccionamento espaçadas menos de 4m	1,0	
	Inexistência de juntas de fraccionamento	0,8	
	B₉ - Juntas entre ladrilhos	Índice aplicável	
	Juntas com a espessura adequada (5/6 mm) e com argamassa RG	1,2	
	Juntas com espessura adequada (5/6 mm) e com argamassa CG	1,0	
	Juntas com espessura inadequada	0,8	

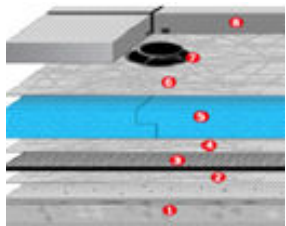
Factor C	C₁ - Qualificação da mão-de-obra	Índice aplicável
	Mão-de-obra qualificada e experiente	1,2
	Mão-de-obra qualificada	1,0
	Mão-de-obra não qualificada e inexperiente	0,8
	C₂ - Regularidade da Fiscalização em obra	Índice aplicável
	Fiscalização pontual	1,2
	Fiscalização permanente	1,0
	Fiscalização inexistente	0,8
Factor D	Não aplicável	
Factor E	E₁ - Zonas climáticas	Índice aplicável
	Edifícios localizados nas zonas I1 e V1	1,2
	Edifícios localizados nas restantes zonas	1,0
	Edifícios localizados nas zonas I3 e V3	0,8
	E₂ - Coeficiente de absorção da radiação solar	Índice aplicável
	Valores de α_s entre 0,2 e 0,3	1,2
	Valores de α_s entre 0,3 e 0,7	1,0
	Valores de α_s superiores a 0,7	0,8
	E₄ - Zonas de precipitação	Índice aplicável
	Edifícios localizados na zona P1	1,2
	Edifícios localizados na zona P2	1,0
	Edifícios localizados na zona P3	0,8
	E₈ - Características da atmosfera	Índice aplicável
	Atmosfera E1*, E2*, E1+E4 ou E2+E4	1,2
	Atmosfera E3*, E3+E4, E1+E5 ou E2+E5	1,0
	Atmosfera E3+E5, E1+E6, E7, E8 ou E9	0,8
Factor F	F₁ - Classificação do produto segundo a adequação ao uso	Índice aplicável
	Possui classificação UPEC superior à mínima exigida	1,2
	Possui a classificação UPEC mínima exigida	1,0
	Possui classificação UPEC inferior à mínima exigida	0,8
Factor G	G₁ - Frequência da manutenção	Índice aplicável
	Realização de todas as operações de manutenção com a periodicidade definida no Quadro 6.38	1,2
	Realização de todas as operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0
	Ausência de manutenção ou realização de apenas algumas operações de manutenção ou com periodicidade superior a 2 anos	0,8

Durabilidade do revestimento em ladrilhos hidráulicos de uma cobertura plana



Factor A	A₁ - Declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	Índice aplicável	Média
	Com declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	1,2	
	Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0	
	A₂ - Características do isolamento térmico	Índice aplicável	
	Isolamento térmico com classificação ISOLE superior à recomendada para o tipo de cobertura	1,2	
	Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0	
	Isolamento térmico com classificação ISOLE inferior à recomendada para o tipo de cobertura	0,8	
	A₈ - Carga de ruptura dos ladrilhos hidráulicos	Índice aplicável	
	Ladrilhos hidráulicos da classe 3 (UT)	1,2	
	Ladrilhos hidráulicos da classe 2 (TT)	1,0	
	Ladrilhos hidráulicos da classe 1 (ST)	0,8	
	A₉ - Absorção de água dos ladrilhos hidráulicos	Índice aplicável	
	Ladrilhos hidráulicos da classe 3 (D)	1,2	
	Ladrilhos hidráulicos da classe 2 (B)	1,0	
	Ladrilhos hidráulicos da classe 1 (A)	0,8	
Factor B	B₁ - Qualidade e nível de pormenorização construtiva do projecto	Índice aplicável	
	Soluções adequadas e pormenorização cuidada	1,2	
	Soluções adequadas e pormenorização geral	1,0	
	Soluções inadequadas ou deficiente pormenorização	0,8	
	B₇ - Juntas de dilatação	Índice aplicável	
	Juntas de dilatação sobreelevadas e com interrupção da membrana	1,2	
	Juntas de dilatação ao nível da superfície da cobertura e com interrupção da camada de protecção rígida e/ou da membrana	1,0	
	Colocação de camada de protecção rígida e/ou membrana sem interrupção sobre a junta de dilatação	0,8	
	B₈ - Juntas de fraccionamento	Índice aplicável	
	Juntas de fraccionamento espaçadas menos de 4 m e formando superfícies com área inferior a 10 m ²	1,2	
	Juntas de fraccionamento espaçadas menos de 4m	1,0	
	Inexistência de juntas de fraccionamento	0,8	
	B₉ - Juntas entre ladrilhos	Índice aplicável	
	Juntas com a espessura adequada (5/6 mm) e com argamassa RG	1,2	
Factor C	C₁ - Qualificação da mão-de-obra	Índice aplicável	
	Mão-de-obra qualificada e experiente	1,2	
	Mão-de-obra qualificada	1,0	
	Mão-de-obra não qualificada e inexperiente	0,8	
	C₂ - Regularidade da Fiscalização em obra	Índice aplicável	
	Fiscalização pontual	1,2	
	Fiscalização permanente	1,0	
	Fiscalização inexistente	0,8	

Factor D	Não aplicável	
Factor E	E ₁ - Zonas climáticas	Índice aplicável
	Edifícios localizados nas zonas I1 e V1	1,2
	Edifícios localizados nas restantes zonas	1,0
	Edifícios localizados nas zonas I3 e V3	0,8
	E ₂ - Coeficiente de absorção da radiação solar	Índice aplicável
	Valores de α_s entre 0,2 e 0,3	1,2
	Valores de α_s entre 0,3 e 0,7	1,0
	Valores de α_s superiores a 0,7	0,8
	E ₄ - Zonas de precipitação	Índice aplicável
	Edifícios localizados na zona P1	1,2
	Edifícios localizados na zona P2	1,0
	Edifícios localizados na zona P3	0,8
	E ₈ - Características da atmosfera	Índice aplicável
	Atmosfera E1*, E2*, E1+E4 ou E2+E4	1,2
	Atmosfera E3*, E3+E4, E1+E5 ou E2+E5	1,0
	Atmosfera E3+E5, E1+E6, E7, E8 ou E9	0,8
Factor F	F ₁ - Classificação do produto segundo a adequação ao uso	Índice aplicável
	Possui classificação UPEC superior à mínima exigida	1,2
	Possui a classificação UPEC mínima exigida	1,0
	Possui classificação UPEC inferior à mínima exigida	0,8
Factor G	G ₁ - Frequência da manutenção	Índice aplicável
	Realização de todas as operações de manutenção com a periodicidade definida no Quadro 6.38	1,2
	Realização de todas as operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0
	Ausência de manutenção ou realização de apenas algumas operações de manutenção ou com periodicidade superior a 2 anos	0,8

Durabilidade do revestimento em lajetas pré-fabricadas de betão de uma cobertura plana			
Factor A	A ₁ - Declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	Índice aplicável	Média
	Com declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade	1,2	
	Com declaração de conformidade CE ou Certificado de Qualidade	1,0	
	A ₂ - Características do isolamento térmico	Índice aplicável	
	Isolamento térmico com classificação ISOLE superior à recomendada para o tipo de cobertura	1,2	
	Isolamento térmico com a classificação ISOLE recomendada para o tipo de cobertura	1,0	
	Isolamento térmico com classificação ISOLE inferior à recomendada para o tipo de cobertura	0,8	
	A ₉ - Carga de ruptura das lajetas pré-fabricadas	Índice aplicável	
	Lajetas da classe 3 (U)	1,2	
	Lajetas da classe 2 (T)	1,0	
	Lajetas da classe 1 (S)	0,8	
	A ₁₁ - Absorção de água das lajetas pré-fabricadas	Índice aplicável	
	Lajetas da classe 3 (D)	1,2	
	Lajetas da classe 2 (B)	1,0	
	Lajetas da classe 1 (A)	0,8	
	A ₁₂ - Resistência ao desgaste das lajetas pré-fabricadas	Índice aplicável	
	Lajetas da classe 4 (I)	1,2	
	Lajetas da classe 2 (G) ou 3 (H)	1,0	
	Lajetas da classe 1 (F)	0,8	
Factor B	B ₁ - Qualidade e nível de pormenorização construtiva do projecto	Índice aplicável	
	Soluções adequadas e pormenorização cuidada	1,2	
	Soluções adequadas e pormenorização geral	1,0	
	Soluções inadequadas ou deficiente pormenorização	0,8	
	B ₁₀ - Reforço da impermeabilização sob o apoio (*)	Índice aplicável	
	Existência de reforço da impermeabilização sob o apoio com dimensões superiores às do apoio	1,0	
	Ausência de reforço da impermeabilização sob o apoio	0,8	
(*) - Aplicável apenas a lajetas sobre apoios			
Factor C	C ₁ - Qualificação da mão-de-obra	Índice aplicável	
	Mão-de-obra qualificada e experiente	1,2	
	Mão-de-obra qualificada	1,0	
	Mão-de-obra não qualificada e inexperiente	0,8	
	C ₂ - Regularidade da Fiscalização em obra	Índice aplicável	
	Fiscalização permanente	1,2	
	Fiscalização pontual	1,0	
	Fiscalização inexistente	0,8	
Factor D	Não aplicável		

Factor E	E₈ - Características da atmosfera	Índice aplicável	
	Atmosfera E1*, E2*, E1+E4 ou E2+E4	1,2	
	Atmosfera E3*, E3+E4, E1+E5 ou E2+E5	1,0	
	Atmosfera E3+E5, E1+E6, E7, E8 ou E9	0,8	
Factor F	Não aplicável		
Factor G	G₁ - Frequência da manutenção	Índice aplicável	
	Realização de todas as operações de manutenção com a periodicidade definida no Quadro 6.38	1,2	
	Realização de todas as operações de manutenção com periodicidade entre um e dois anos	1,0	
	Ausência de manutenção ou realização de apenas algumas operações de manutenção ou com periodicidade superior a 2 anos	0,8	

