

## **Previsão da vida útil de caixilharias**

**Daniel Vítor Fernandes**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

### **Engenharia Civil**

Orientador: Professor Doutor Jorge Manuel Calião Lopes de Brito

Orientadora: Doutora Ana Filipa Ferreira da Silva Cigarro Matos

#### **Júri**

Presidente: Professor Doutor Albano Luís Rebelo da Silva das Neves e Sousa

Orientador: Professor Doutor Jorge Manuel Calião Lopes de Brito

Vogal: Professora Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

**Lisboa, Maio de 2018**



## Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.



**Título:** Previsão da vida útil de caixilharias

**Resumo**

O principal objectivo da presente dissertação é a aplicação de um método de cálculo para a estimativa da vida útil de caixilharias, seguindo a linha de investigação desenvolvida para revestimentos de fachada, adaptada ao caso específico das caixilharias.

A metodologia aplicada para a previsão da vida útil de caixilharias baseou-se na recolha de dados através de inspecções visuais a 182 caixilharias de edifícios em serviço, durante um extenso trabalho de campo, no qual se efectua um levantamento dos seus fenómenos de degradação. Esta informação é posteriormente convertida em índices numéricos de quantificação da degradação global, possibilitando a definição de curvas de degradação. Estas apresentam graficamente a degradação física das caixilharias ao longo do tempo, permitindo estimar uma vida útil média para as caixilharias, assim como a influência das suas características na sua durabilidade.

A aplicação do modelo proposto permite obter resultados aceitáveis e adequados em relação à degradação observada, tendo-se obtido um valor médio de 37,6 anos de vida útil para as caixilharias de alumínio e de 27,3 anos para as caixilharias de madeira. Para as caixilharias em PVC e para algumas das características das caixilharias, não é possível retirar conclusões inequívocas. No entanto, verifica-se que as condições de exposição e os hábitos de utilização têm um impacte significativo na sua degradação.

Assim, a presente dissertação, pretende contribuir para o estudo da durabilidade dos componentes da construção, podendo auxiliar na definição do planeamento dos ciclos de manutenção e amenizando os custos associados ao ciclo de vida dos edifícios.

**Palavras-chave:** Caixilharias, previsão da vida útil, durabilidade, curvas de degradação.

**Title:** Service life prediction of window frames

**Abstract**

In this dissertation, a methodology for the service life prediction of windows frames is proposed, following a research line developed for façade claddings. In this sense, the same calculation methods are used, adapted to the specific case of window frames.

The methodology developed in this study is based on the data collected through the visual inspection of 182 window frames, carried out during an extensive fieldwork, in which the different degradation phenomena were surveyed. The information obtained is then converted into degradation indicators, which allow defining degradation curves patterns. These curves express the physical degradation of window frames over time, allowing estimating their service life, as well as, the influence of their characteristics on their durability.

The application of the proposed model leads to acceptable and adequate results, in comparison with the degradation observed in reality. Based on the sample analysed, an estimated service life of 37.6 years, for aluminium windows, and of 27.3 years, for wooden windows, is obtained. For PVC windows and for some characteristics of window frames, it is not possible to obtain unequivocal conclusions. However, the results obtained reveal that the exposure conditions and the conditions of use of the window frames seem to play a crucial role on their degradation.

This study intends to provide a contribution to the knowledge regarding the service life prediction of exterior building components, which can be used in the definition of maintenance plans, reducing the costs associated with the building's maintenance and refurbishment during their life cycle.

**Keywords:** Window frames, service life prediction, durability, degradation curves.

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Jorge de Brito, meu orientador científico, pela possibilidade de desenvolver o presente trabalho, pelo exemplo da capacidade de trabalho, competência e rigor, e ainda a disponibilidade e ajuda crucial prestada no decorrer da dissertação.

À Doutora Ana Silva, minha co-orientadora, a quem agradeço toda a disponibilidade e paciência demonstrada, também pela motivação, dinamismo e ideias transmitidas para a resolução das diversas dificuldades, que constituíram uma contribuição indispensável para a conclusão do trabalho.

A todos aqueles que me receberam amavelmente nas suas habitações e contribuíram para a recolha de dados sobre caixilharias, agradeço profundamente o tempo disponibilizado, sem o qual a realização do presente trabalho não seria possível.

Aos diversos professores, que me incutiram o entusiasmo pela ciência e o seu rigor analítico.

Aos amigos e colegas, que me acompanharam ao longo do meu percurso de estudante, expresso o meu agradecimento pela amizade e espírito de interajuda.

Agradeço todo o apoio demonstrado pela minha família.

Aos meus avós maternos, pelo apoio incondicional e enorme influência positiva no meu crescimento pessoal, sem o qual o meu percurso académico não teria sido possível. Agradeço também pelos momentos de alegria e conhecimentos transmitidos.

Aos meus avós paternos, em especial ao meu avô, provável responsável pelo meu interesse e gosto pela construção civil, agradeço o exemplo de organização, método e capacidade de luta e sacrifício pessoal. E ainda o espírito familiar demonstrado nos momentos de convívio.

Aos meus pais e irmão, agradeço os princípios transmitidos, o ambiente estável e as oportunidades proporcionadas. Por serem a base do que alcancei, dedico-vos este trabalho.





# Índice geral

<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Considerações preliminares e justificação da dissertação</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Objectivos e metodologia da dissertação</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Teorias baseadas na vida útil</b> .....	<b>2</b>
1.3.1 Conceito de vida útil.....	2
1.3.2 Fim da vida útil .....	3
<b>1.4 Métodos para a estimativa da vida útil</b> .....	<b>4</b>
1.4.1 Métodos determinísticos .....	4
1.4.2 Métodos probabilísticos / estocásticos .....	6
1.4.3 Métodos de engenharia .....	6
<b>1.5 Enquadramento normativo</b> .....	<b>8</b>
1.5.1 <i>Principal guide for service life planning of buildings</i> - Japão .....	8
1.5.2 ISO 15686 ( <i>Building and construction assets service life planning</i> ) .....	8
1.5.3 <i>Guide to durability of buildings and components</i> - Reino Unido .....	8
1.5.4 <i>Regulamento Geral das Edificações</i> - Portugal .....	9
<b>1.6 Organização da dissertação</b> .....	<b>10</b>
<b>2. Caracterização da caixilharia e da sua patologia</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 Introdução</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2 Tipos de caixilharias e seus componentes</b> .....	<b>11</b>
2.2.1 Tipologias das caixilharias .....	11
2.2.2 Componentes das caixilharias .....	12
<b>2.3 Materiais</b> .....	<b>16</b>
2.3.1 Madeira .....	16
2.3.2 Ferro / Aço.....	17
2.3.3 Alumínio .....	18
2.3.4 PVC .....	18
<b>2.4 Exigências funcionais a cumprir pela caixilharia</b> .....	<b>19</b>
2.4.1 Legislação Europeia.....	19
2.4.2 Legislação Portuguesa.....	20
<b>2.5 Classificação das anomalias em caixilharias</b> .....	<b>21</b>

2.5.1 Anomalias em vidro.....	21
2.5.2 Anomalias dos vedantes.....	21
2.5.3 Anomalias em ferragens.....	22
2.5.4 Anomalias do revestimento e do caixilho.....	22
2.5.5 Degradação da madeira.....	24
2.5.6 Degradação dos metais.....	25
2.5.7 Degradação do plástico.....	25
<b>2.6 Conclusão.....</b>	<b>26</b>
<b>3. Trabalho de campo.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Introdução.....</b>	<b>27</b>
3.1.1 Objectivos do trabalho de campo.....	27
3.1.2 Amostra analisada.....	28
<b>3.2 Metodologia aplicada.....</b>	<b>28</b>
3.2.1 Levantamento das anomalias.....	29
3.2.2 Ficha de inspecção.....	30
<b>3.3 Classificação e definição dos níveis de degradação.....</b>	<b>31</b>
3.3.1 Classificação das anomalias.....	31
3.3.2 Definição dos níveis de degradação das anomalias.....	32
<b>3.4 Caracterização da amostra recolhida.....</b>	<b>36</b>
3.4.1 Casos excluídos.....	36
3.4.2 Caracterização das caixilharias estudadas.....	37
3.4.3 Caracterização dos hábitos dos utilizadores.....	39
3.4.4 Caracterização das zonas estudadas.....	40
3.4.5 Caracterização das anomalias detectadas.....	42
<b>3.5 Conclusão.....</b>	<b>49</b>
<b>4. Modelos de degradação de caixilharias.....</b>	<b>51</b>
<b>4.1 Introdução.....</b>	<b>51</b>
<b>4.2 Evolução da degradação.....</b>	<b>51</b>
<b>4.3 Definição do fim de vida útil de caixilharias.....</b>	<b>52</b>
<b>4.4 Metodologia para a estimativa da vida útil de caixilharias.....</b>	<b>53</b>
4.4.1 Modelo de Gaspar (2009).....	53

<b>4.5 Curvas de degradação .....</b>	<b>62</b>
4.5.1 Vida útil média para caixilharias.....	63
4.5.2 Influência dos factores de degradação relativos aos hábitos do utilizador .....	67
4.5.3 Influência dos factores de degradação relativos à zona envolvente .....	69
4.5.4 Análise da extensão da degradação.....	71
4.5.5 Síntese dos resultados.....	72
<b>4.6 Conclusão.....</b>	<b>74</b>
<b>5. Conclusões e desenvolvimentos futuros .....</b>	<b>75</b>
<b>5.1 Considerações finais.....</b>	<b>75</b>
<b>5.2 Conclusões gerais .....</b>	<b>75</b>
<b>5.3 Desenvolvimentos futuros.....</b>	<b>78</b>
5.3.1 Melhoria da informação recolhida e amostra analisada .....	78
5.3.2 Desenvolvimentos relativos à quantificação da degradação global .....	79
5.3.3 Método factorial.....	80
<b>Bibliografia.....</b>	<b>81</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>A1</b>
<b>Anexo A - Ficha de inspecção .....</b>	<b>A2</b>
<b>Anexo A.I - Zonamento térmico (EC1 - Parte 1.5).....</b>	<b>A6</b>
<b>Anexo A.II - Zonamento do território em termos da acção do vento (EC1 - Parte 1.4) .....</b>	<b>A8</b>
<b>Anexo A.III - Exposição do vão (RSA) .....</b>	<b>A10</b>
<b>Anexo B - Caracterização dos edifícios analisados.....</b>	<b>A11</b>
<b>Anexo C - Caracterização das caixilharias analisadas .....</b>	<b>A12</b>
<b>Anexo D - Caracterização do estado de degradação das caixilharias.....</b>	<b>A19</b>

## Índice de figuras

Figura 1.1 - Degradação esquemática dos diferentes grupos de propriedades.....	3
Figura 1.2 - Influência das acções de manutenção na degradação de um elemento e a sua influência no cumprimento dos níveis mínimos aceitáveis.....	4
Figura 1.3 - Os cinco passos básicos para a aplicação do método FMEA .....	7
Figura 2.1 - Terminologia dos vários elementos da caixilharia, A (esquerda) e B (direita) .....	11
Figura 2.2 - Componentes utilizados numa caixilharia de vidro duplo em madeira lamelada .....	12
Figura 2.3 - Vidro impresso (à esquerda), vidro opaco (ao centro) e vidro aramado (à direita).....	14
Figura 2.6 - Evolução dos materiais utilizados na caixilharia ao longo do tempo .....	16
Figura 2.7 - Caixilharia mista, alumínio e madeira.....	16
Figura 2.8 - Cota de produção do tipo de caixilharias, no ano de 2009, Europa .....	17
Figura 2.9 - Início do descolamento do vedante (à esquerda), incorrecta vedação (ao centro) e colonização biológica (à direita).....	22
Figura 3.1 - Dificuldade de visualização da totalidade da caixilharia quando inspeccionada pelo exterior em altura.....	30
Figura 3.2 - Alteração da cor / degradação superficial do vedante (à esquerda), deterioração do revestimento da massa de vidraceiro (ao centro) e colonização biológica do vedante (à direita).....	33
Figura 3.3 - Acumulação de sujidade (à esquerda), descontinuidade do vedante (ao centro) e ausência de massa de vidraceiro (à direita) .....	33
Figura 3.4 - Destacamento do revestimento (à esquerda), folga entre a folha móvel e aro fixo (ao centro) e envelhecimento da madeira (à direita).....	34
Figura 3.5 - Fissuração do revestimento (à esquerda), alteração da cor do revestimento (ao centro) e acumulação de sujidade no aro fixo inferior (à direita) .....	35
Figura 3.6 - Mecanismo danificado (à esquerda), mecanismo em falta (ao centro) e corrosão do mecanismo (à direita) .....	36
Figura 3.7 - Caixilharia de alumínio de 1985 que apresenta um estado de degradação anómalo .....	37
Figura 3.8 - Caixilharias de alumínio de 1985 que apresentam um estado de degradação muito inferior ao esperado .....	37
Figura 3.9 - Geometria incorrecta do vedante vertical (à esquerda), incorrecta aplicação do vedante (ao centro) e tentativa de reaproveitamento do vedante (à direita) .....	38
Figura 3.10 - Distribuição da idade das caixilharias inspeccionadas pelos diferentes tipos de materiais....	38
Figura 3.11 - Distribuição da amostra estudada segundo o tipo de material da caixilharia .....	39
Figura 3.12 - Distribuição da amostra analisada segundo a exposição do vão .....	39

Figura 3.13 - Distribuição da amostra estudada segundo o tipo de utilização do edifício .....	39
Figura 3.14 - Distribuição da amostra segundo a existência de condições de sombreamento .....	39
Figura 3.15 - Distribuição da amostra analisada segundo o revestimento da caixilharia e o seu material ..	40
Figura 3.16 - Distribuição da amostra relativamente à manutenção aplicada pelo utilizador .....	40
Figura 3.17 - Distribuição da amostra estudada segundo a frequência de operação da caixilharia .....	41
Figura 3.18 - Distribuição da amostra segundo o número de horas diárias em que a caixilharia se encontra protegida.....	41
Figura 3.19 - Distribuição da amostra analisada relativamente ao distrito e concelho em que se insere ....	41
Figura 3.20 - Distribuição da amostra estudada segundo a proximidade ao mar.....	41
Figura 3.21 - Distribuição da amostra segundo o tipo de envolvente .....	41
Figura 3.22 - Distribuição da amostra estudada segundo a orientação da caixilharia.....	42
Figura 3.23 - Distribuição da amostra em relação à exposição a agentes poluentes.....	42
Figura 3.24 - Distribuição da amostra estudada segundo a zona térmica em que se insere .....	42
Figura 3.25 - Distribuição da amostra relativamente à zona de acção vento .....	42
Figura 3.26 - Frequência relativa e absoluta global dos grupos de anomalias (alumínio).....	43
Figura 3.27 - Distribuição dos níveis de degradação pelos grupos de anomalias (alumínio) .....	43
Figura 3.28 - Distribuição da amostra analisada relativamente às anomalias detectados segundo os diferentes grupos de anomalias e níveis de degradação (alumínio) .....	44
Figura 3.29 - Distribuição dos níveis de degradação das anomalias detectadas para a amostra de alumínio .....	45
Figura 3.30 - Frequência relativa e absoluta dos grupos de anomalias (madeira) .....	45
Figura 3.31 - Distribuição dos níveis de degradação segundo os grupos de anomalias (madeira) .....	45
Figura 3.32 - Distribuição da amostra analisada relativamente às anomalias detectados segundo os diferentes grupos de anomalias e níveis de degradação (madeira).....	46
Figura 3.33 - Distribuição do nível de degradação das anomalias detectadas para a amostra de madeira	47
Figura 3.34 - Frequência relativa e absoluta dos grupos de anomalias (PVC) .....	47
Figura 3.35 - Distribuição dos níveis de degradação segundo os grupos de anomalias (PVC) .....	47
Figura 3.36 - Distribuição da amostra analisada relativamente às anomalias detectados pelos diferentes grupos de anomalias e níveis de degradação (PVC) .....	48
Figura 3.37 - Distribuição do nível de degradação das anomalias detectadas para a amostra de PVC .....	49
Figura 4.1 - Curvas de degradação correspondentes aos padrões de degradação linear, côncavo, convexa, forma em “S” e fenómenos discretos .....	52

Figura 4.2 - Sobreposição dentro do grupo de anomalias, no revestimento e no material do caixilho: fissuração e alteração da cor do revestimento (à esquerda); destacamento do revestimento e envelhecimento da madeira (à direita).....	55
Figura 4.3 - Distribuição da severidade de degradação, sem ponderação entre anomalias (amostra de caixilharias de alumínio).....	62
Figura 4.4 - Distribuição da severidade de degradação, com ponderação entre anomalias (amostra de caixilharias de alumínio).....	62
Figura 4.5 - Curva de degradação para a amostra de alumínio .....	65
Figura 4.6 - Pormenores da caixilharia de alumínio próxima do fim de vida útil .....	65
Figura 4.7 - Curva de degradação para a amostra de madeira.....	66
Figura 4.8 - Pormenores da caixilharia de madeira próxima do fim de vida útil .....	66
Figura 4.9 - Caixilharia de madeira com um valor muito elevado de degradação .....	67
Figura 4.10 - Curva de degradação para a amostra de PVC .....	67
Figura 4.11 - Curva de degradação segundo o número de horas com dispositivos de sombreamento (amostra de alumínio) .....	68
Figura 4.12 - Curva de degradação segundo o número de horas com dispositivos de sombreamento (amostra de madeira) .....	68
Figura 4.13 - Curva de degradação segundo a frequência das acções de limpeza implementadas (amostra de alumínio) .....	69
Figura 4.14 - Curva de degradação segundo a frequência das acções de limpeza implementadas (amostra de madeira) .....	69
Figura 4.15 - Curva de degradação segundo a exposição do vão (amostra de alumínio).....	69
Figura 4.16 - Curva de degradação segundo a exposição do vão (amostra de madeira) .....	69
Figura 4.17 - Curva de degradação segundo a orientação da caixilharia (amostra de alumínio).....	70
Figura 4.18 - Curva de degradação segundo a orientação da caixilharia (amostra de madeira) .....	70
Figura 4.19 - Curva de degradação segundo o tipo de envolvente (amostra de alumínio).....	71
Figura 4.20 - Curva de degradação segundo o tipo de envolvente (amostra de madeira) .....	71
Figura 4.21 - Curva de degradação segundo a proximidade do mar (amostra de alumínio).....	71
Figura 4.22 - Curva de degradação segundo a proximidade do mar (amostra de madeira) .....	71
Figura 4.23 - Extensão da degradação ponderada segundo os diferentes grupos de anomalias (amostra de alumínio).....	72
Figura 4.24 - Extensão da degradação ponderada segundo os diferentes grupos de anomalias (amostra de madeira) .....	72

Figura 4.25 - Correspondência entre a avaliação prévia da degradação das caixilharias e o nível de degradação obtido (amostra de alumínio).....	74
Figura 4.26 - Correspondência entre a avaliação prévia da degradação das caixilharias e o nível de degradação obtido (amostra de madeira) .....	74
Figura 5.1 - Vida útil estimada e respectivos factores de ajustamento, de acordo com as características da caixilharia (amostra de alumínio).....	77
Figura 5.2 - Vida útil estimada e respectivos factores de ajustamento, de acordo com as características da caixilharia (amostra de madeira) .....	78

## Índice de tabelas

Tabela 1.1 - Normas da série ISO 15686.....	9
Tabela 2.1 - Tipo de folha móvel, características, vantagens e desvantagens, classes I e II.....	13
Tabela 2.2 - Tipo de folha móvel, características, vantagens e desvantagens, classe II e III.....	13
Tabela 2.2 - Tipo de folha móvel, características, vantagens e desvantagens, classe II e III (continuação)14	
Tabela 2.3 - Ensaio do tipo inicial a realizar para janelas de peitoril / sacada e para portas pedonais exteriores.....	19
Tabela 3.1 - Descrição dos níveis de degradação em caixilharias.....	32
Tabela 3.2 - Ajuste a aplicar ao nível de degradação da anomalia, caso esteja na origem da insuficiência de estanqueidade ou operacionalidade.....	32
Tabela 3.3 - Definição dos níveis de degradação para anomalias dos vedantes.....	34
Tabela 3.4 - Definição dos níveis de degradação para material e revestimento do caixilho.....	35
Tabela 3.5 - Definição dos níveis de degradação das ferragens.....	36
Tabela 4.1 - Factor multiplicativo a aplicar para cada nível de degradação.....	54
Tabela 4.2 - Valor máximo da extensão da degradação ponderada para a ocorrência da situação mais gravosa de anomalias em vedantes.....	56
Tabela 4.3 - Valor máximo da extensão da degradação ponderada para o a ocorrência da situação mais gravosa de anomalias no revestimento e material do caixilho.....	56
Tabela 4.4 - Valor máximo da extensão da degradação ponderada para o a ocorrência da situação mais gravosa de anomalias em ferragens.....	56
Tabela 4.5 - Coeficientes de ponderação $k_{a,n}$ adoptados.....	57
Tabela 4.6 - Correspondência entre os indicadores de degradação.....	61
Tabela 4.7 - Exemplos da diferença obtida nos parâmetros de degradação devido à ponderação entre anomalias.....	62
Tabela 4.8 - Vida útil estimada em função do tipo de caixilharia.....	63
Tabela 4.9 - Vida útil expectável para caixilharias.....	63
Tabela 4.10 - Vida útil expectável para caixilharias de madeira (adaptado de Kempton <i>et al.</i> , 2002).....	64
Tabela 4.11 - Vida útil expectável para caixilharias.....	64
Tabela 4.12 - Valores de fim de vida útil para caixilharias de alumínio e madeira, segundo as diferentes características analisadas no presente capítulo.....	73
Tabela 5.1 - Valor do coeficiente de determinação e vida útil média obtida para cada material analisado.....	76



# 1. Introdução

## 1.1 Considerações preliminares e justificação da dissertação

Na União Europeia, o sector da construção é responsável por cerca de 40% do consumo energético total, tornando-se um dos sectores mais importantes a nível de impactes ambientais (Pinheiro, 2017). Em Portugal, e em especial nas zonas urbanas, o consumo de energia primária para edifícios e imobiliário pode atingir valores superiores a 40%, cerca de 46% no caso de Lisboa (Lisboa e-nova, 2005) e 58% no Porto (AdEPorto *et al.*, 2008). A preocupação com o desempenho energético dos edifícios resulta na implementação da Directiva 2010/31/UE, que propõe, entre outras medidas, a promoção de certificados de desempenho energético, sendo em Portugal definida no Decreto-Lei n.º 118/2013, o “Sistema de Certificação Energética dos Edifícios” (SCE).

Os caixilhos e envidraçados têm uma grande importância na gestão energética dos edifícios, pois o seu funcionamento tem um impacte directo na regulação da higrometria do ar interior (Garrido, 2008). Segundo Mateus e Bragança (2006), 25% dos consumos energéticos dos edifícios residenciais são alocados à climatização e Gustavsen *et al.* (2011) afirmam que as janelas representam entre 30 e 50% das perdas de energia por transmissão da envolvente do edifício. Os últimos estudos na área das caixilharias têm incidido sobre a influência de diversos parâmetros na eficiência energética do conjunto caixilho-envidraçado, o ciclo de vida dos vários tipos de caixilho e a utilização de novos tipos de materiais para isolamento térmico ou corte térmico. Estes desenvolvimentos têm o mesmo fim, o de obter sistemas mais eficientes, ou seja, trabalhar para um futuro sustentável, em que os gastos, energéticos e de manutenção / substituição do elemento sejam minorados.

Na última década, têm surgido inúmeros estudos relacionados com caixilharias, que têm como objectivo apresentar novos resultados ligados à optimização dos consumos energéticos em edifícios, demonstra a importância das caixilharias nesta área. Appelfeld *et al.* (2010) desenvolveram a aplicação de polímeros reforçados com fibra de vidro (GFRP - *Glass Fibre Reinforced Polymer*) na produção de caixilharias, chegando a resultados positivos quando comparado com as alternativas de alumínio e madeira no domínio da eficiência energética. Jaber e Ajib (2011) relatam a importância de um projecto adequado para as janelas, chegando a valores de 21 a 24% de economia energética para uma janela envidraçada com dimensionamento correcto. Minne *et al.* (2015) estudaram, através da análise de ciclo de vida, a influência do clima nos vários tipos de janelas nos EUA, tendo chegado a conclusões sobre como modernizar as janelas da cidade de Atlanta, no estado da Geórgia, resultando numa redução das emissões de CO<sub>2</sub> em 0.5 MTM por ano. Vanhoutteghem *et al.* (2015) estudaram o impacte do projecto das janelas na energia, iluminação e conforto térmico nos edifícios de quase zero energia na Noruega, tendo concluído que, com a modelação dos projectos de caixilharias, é possível obter uma solução optimizada para os parâmetros referidos, sendo apresentados gráficos que ajudam em tal definição. Cuce (2017) estudou a importância da estanqueidade ao ar nas perdas de energia pelas janelas, chegando a uma redução de 33% de perdas de calor para janelas devidamente estanques ao ar em comparação às janelas correntes.

Com o objectivo de aumentar a sustentabilidade dos edifícios, é importante não só conhecer as propriedades térmicas dos sistemas, mas também o custo do seu ciclo de vida. Asif *et al.* (2002) apresentam

um estudo comparativo do ciclo de vida dos materiais constituintes das caixilharias em que chegam à conclusão de que o caixilho de alumínio é o que contém maior energia incorporada (6 GJ), seguido do caixilho de PVC (2980 MJ). Porém, é necessário avaliar também a vida útil das duas soluções para que a comparação possa ser correctamente feita.

A presente dissertação pretende contribuir para o conhecimento da vida útil das caixilharias, analisando a influência de diversos factores no seu desempenho ao longo do tempo. A determinação da vida útil das caixilharias apresenta vantagens quer para o utilizador final, que pode fazer a escolha economicamente mais viável, quer para a indústria que pode tirar conclusões relativamente aos seus produtos e melhorá-los. Por fim, importa referir que a dissertação se enquadra na linha de investigação da previsão de vida útil de componentes não estruturais do edificado, desenvolvido no Instituto Superior Técnico. As dissertações de Alberto Santos (2012) “Sistema de inspecção e diagnóstico de caixilharias” e Mário Vicente (2012) “Tecnologia e reabilitação de caixilharias” foram documentos de apoio importantes relativos à informação sobre a tecnologia e patologia das caixilharias.

## **1.2 Objectivos e metodologia da dissertação**

A dissertação enquadra-se no estudo da durabilidade de elementos da construção de edifícios e tem por objectivo desenvolver e aplicar uma metodologia para a previsão da vida útil de caixilharias, que permita obter uma vida útil média em função de diversos factores, podendo esta informação ser posteriormente utilizada para definir estratégias de manutenção e reparação destes elementos. A elaboração do modelo de degradação é baseada no levantamento do estado de degradação das caixilharias em condições reais de utilização, a partir dos dados que foram recolhidos em campo com o auxílio de uma ficha de inspecção, que contém os factores mais relevantes para a análise da durabilidade do componente. De forma a obter resultados mais representativos, foi analisado o maior número de caixilharias possível. Os objectivos intermédios, alcançados ao longo do desenvolvimento da dissertação, foram a definição de um nível máximo de degradação das caixilharias e a compreensão dos mecanismos de degradação evolutivos que o influenciem.

## **1.3 Teorias baseadas na vida útil**

O conceito de vida útil, a análise dos métodos para a sua previsão e o fim da mesma têm sido abordados por diversos autores (Masters e Brandt, 1987; Moser, 1999; Gaspar, 2002; Hovde, 2004; Gaspar, 2009; Garrido, 2010; Silva, 2015), sendo neste subcapítulo realizada uma breve descrição de forma a enquadrar o tema de estudo.

### **1.3.1 Conceito de vida útil**

O conceito de vida útil não é unívoco, existindo ligeiras diferenças na sua definição entre autores. Segundo Masters e Brandt (1987), a vida útil de um componente da construção, equivale ao período de tempo durante o qual todos os requisitos essenciais são satisfeitos ou excedem os valores mínimos aceitáveis, existindo uma manutenção periódica. Segundo Gaspar (2002), devido à complexidade das construções e dos seus diversos componentes constituintes, a maioria dos estudos sobre a durabilidade adopta um método analítico, segundo o qual o problema é fraccionado e subsequentemente analisado segundo diferentes categorias, nomeadamente a obsolescência funcional ou de imagem, a perda de desempenho económico e a degradação física dos materiais.

A vida útil física, como o nome indica, corresponde à degradação física dos materiais, resultado da

acção dos agentes de degradação, sejam eles físicos, químicos ou mecânicos, associado à acção do tempo, ou seja, o envelhecimento natural. É ainda de referir que a maioria da investigação sobre a durabilidade das construções se baseia nos aspectos relacionados com a degradação física, visto serem estes os mais fáceis de quantificar.

A perda de desempenho económico de uma construção está relacionada com os custos de gestão e manutenção, sendo os custos do ciclo de vida do património edificado da maior importância para a economia (Hovde, 2002). Segundo de Brito (2001), a definição da vida útil das construções é na maior parte das vezes um problema mais de carácter económico do que técnico, em que o fim de vida útil económica é atingido quando a substituição do elemento é economicamente mais viável do que a sua reparação.

A vida útil funcional corresponde ao desempenho da construção relativamente às expectativas e exigências dos utilizadores. Segundo Sarja (2004), a obsolescência funcional de um edifício é atingida quando este, ou algumas das suas partes constituintes, são incapazes de satisfazer a evolução funcional, económica e cultural ou exigências ecológicas. Em suma, a obsolescência funcional ocorre quando um dado elemento da construção pode ser substituído por outro com um melhor desempenho, segundo as exigências atribuídas a esse elemento.

### 1.3.2 Fim da vida útil

De forma a obter uma metodologia para a previsão da vida útil de um elemento da construção, é necessário definir de forma o mais inequívoca possível o conceito de fim de vida útil. Porém, segundo Moser (2004), a definição do limite para o fim de vida útil de um edifício, ou seus elementos, não é uma tarefa fácil. De acordo com Gaspar (2002), o fim de vida útil pode ser definida como o período de tempo no qual é expectável a ocorrência de falhas no elemento, que originam o incumprimento dos níveis de exigência inicialmente propostos. De acordo com Gaspar (2009) e Garrido (2010), o conceito de um nível mínimo de desempenho é relativo, variando no espaço e tempo, devido à avaliação subjectiva dos decisores ou a razões relacionadas com a evolução das exigências normativas. Segundo Moser (1999), existem três propriedades que ditam o fim de vida útil de uma construção ou um dos seus elementos, sendo o limite definido quando uma destas propriedades atinge um ponto abaixo do nível mínimo especificado. Os três grupos considerados pelo autor são a segurança, a funcionalidade e a estética. Na Figura 1.1, é possível observar a relação entre a curva que representa a perda de desempenho destas propriedades ao longo do tempo e os patamares de desempenho mínimo aceitável.

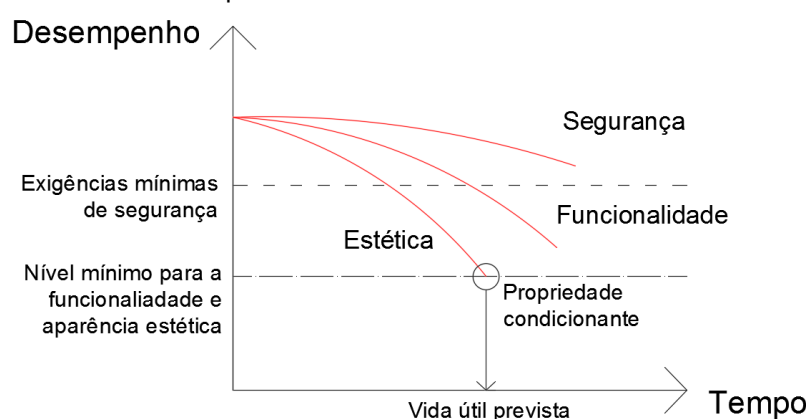
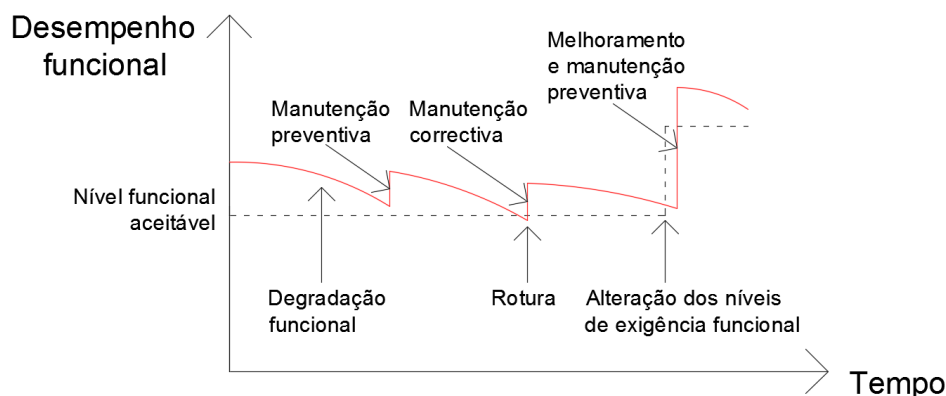


Figura 1.1 - Degradação esquemática dos diferentes grupos de propriedades (adaptado de Moser, 1999)

O grupo de propriedades relativas à segurança compreende todos os factores que garantem a integridade do elemento de construção, estando usualmente associados a níveis mínimos de desempenho definidos por lei. O segundo grupo relativo à funcionalidade corresponde às propriedades exigidas ao elemento de forma a cumprir as funções para o qual é concebido; no caso das caixilharias, podem ser características relacionadas com o desempenho térmico, a capacidade de passagem de luz natural, entre outros. O último grupo diz respeito à aparência da construção ou dos seus elementos, um parâmetro de difícil avaliação, devido ao nível de desempenho mínimo estar associado à interpretação de quem o avalia. No entanto, é usual as exigências de desempenho estético diminuírem naturalmente com a idade do edifício. O desempenho ao longo do tempo de um elemento da construção pode ser influenciado pela ocorrência de acções de manutenção, alterando os valores de vida útil e os custos de intervenção (Flores, 2002). Segundo Takata *et al.* (2004), as acções de manutenção ocorrem essencialmente em duas situações distintas: a alteração das condições do edifício devido à deterioração, ou seja, prolongamento da vida útil física; ou a alteração das exigências funcionais, correspondente à melhoria das funções ou características do elemento. Na Figura 1.2, é possível observar os diferentes tipos de intervenções em edifícios e a sua influência no ciclo de vida.



**Figura 1.2 - Influência das acções de manutenção na degradação de um elemento e a sua influência no cumprimento dos níveis mínimos aceitáveis (adaptado de Takata *et al.*, 2004)**

## 1.4 Métodos para a estimativa da vida útil

O objectivo dos métodos de previsão de vida útil é a modelação do desempenho dos diferentes materiais e componentes da construção, com a finalidade de compreender a evolução da sua degradação e a estimativa do tempo de vida útil. Segundo Hovde (2004), a previsão da vida útil dos edifícios, ou dos seus componentes representa um processo complexo e moroso, associado a numerosos e diversos factores. Os métodos utilizados para a estimativa da vida útil podem ser divididos em três grandes grupos: determinísticos, probabilísticos e de engenharia (Moser, 2004; Lacasse e Sjöström, 2004).

### 1.4.1 Métodos determinísticos

De acordo com Gaspar (2002), os métodos determinísticos têm como base os factores de degradação dos elementos e os seus mecanismos de deterioração, sendo atribuído a cada um dos factores uma importância, ou peso, que posteriormente são incorporados em fórmulas que expressam a acção dos mecanismos ao longo do tempo. O autor refere ainda como vantagens a facilidade de compreensão, e implementação, sendo também possível a sua aplicação mesmo em situações em que nem todas as variáveis se encontram disponíveis. No entanto, estes métodos são alvo de críticas devido à forma

demasiado simplista com que abordam o problema da vida útil das construções, fenómeno intrinsecamente complexo. Hovde (2000) refere que os modelos determinísticos não incorporam toda a variabilidade associada aos processos de degradação, tendo como objectivo central a obtenção de um valor absoluto da vida útil, não fornecendo informação relativa ao processo de degradação. Contudo, os modelos determinísticos são os que têm obtido os resultados mais práticos, servindo de base para a norma internacional para a durabilidade das construções (ISO 15686).

#### 1.4.1.1 Método factorial

O método factorial foi inicialmente proposto pelo *Architectural Institute of Japan* (AIJ, 1993), no guia para o planeamento de vida útil de materiais e componentes de edifícios, sendo posteriormente adoptado como metodologia utilizada pela norma ISO para a durabilidade (ISO 15686, 2011; Silva, 2015). O método tem por base uma vida útil de referência, que é influenciada por um conjunto de factores determinísticos associados à diferença entre as condições consideradas de referência e as condições específicas de cada caso. Na generalidade das aplicações do método factorial, os factores correspondem a índices multiplicativos e variam normalmente entre 0,8 e 1,2, assumindo o valor de 1,0 para as situações correntes ou quando o factor não é aplicável (Silva, 2015). Assim, o método factorial permite o cálculo da vida útil de um componente da construção através da multiplicação do valor de vida útil de referência por diversos factores de durabilidade, como é possível observar na expressão (1.1). Em que  $VUE$  designa a vida útil estimada;  $VUR$  representa a vida útil de referência do componente; o factor  $A$  corresponde à qualidade do componente, dos seus materiais e acabamento; o factor  $B$  expressa o nível ou qualidade do projecto; o factor  $C$  está relacionado com o nível de execução, usualmente associado à qualidade da mão-de-obra; os factores  $D$  e  $E$  correspondem às condições do ambiente no interior e exterior da construção, respectivamente; o factor  $F$  reflecte as condições de uso; e por fim, o factor  $G$  expressa o nível de manutenção.

$$VUE = VUR \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \quad (1.1)$$

O método factorial é alvo de críticas devido à grande dependência nos factores determinísticos, pela grande sensibilidade a pequenas variações dos dados e pela falta de instruções para a determinação da vida útil de referência e a quantificação dos factores modificativos (Rudbeck, 1999; Moser, 2003, 2004; Hovde, 2000, 2005). Segundo Moser (2004), a consideração de cada um dos factores como uma variável aleatória, associada a uma função de densidade de probabilidade, pode melhorar a qualidade das estimativas, introduzindo uma componente probabilística no método e mantendo a sua simplicidade de aplicação. Apesar das críticas, este é o único método aceite internacionalmente para a determinação da vida útil de um componente da construção, que pode ser complementado com as mais recentes técnicas ou informações, proporcionando um adequado equilíbrio entre o rigor, a rapidez e a simplicidade de aplicação (Gaspar, 2009).

#### 1.4.1.2 Método gráfico

O método gráfico é baseado na definição de curvas de degradação, que pretendem descrever o desempenho dos materiais e componentes ao longo do tempo (Chai *et al.* 2014). Na generalidade dos casos, a representação da medida de degradação é feita sobre o eixo das ordenadas, e o tempo decorrido desde a entrada em serviço e a data da inspecção sobre o eixo das abcissas (Garrido, 2010). O tipo de curvas utilizadas para a modelação do desempenho varia conforme a natureza do fenómeno

de degradação, devendo ser procurado o melhor ajuste possível ao andamento dos pontos no gráfico de degradação (Chai *et al.* 2014). É ainda de referir a metodologia desenvolvida por Gaspar (2009), que permite a transposição dos resultados obtidos pelo método gráfico para o método factorial, que apresenta grandes vantagens pelos motivos mencionados no subcapítulo anterior.

#### **1.4.2 Métodos probabilísticos / estocásticos**

Ao contrário dos modelos determinísticos, os modelos probabilísticos ou estocásticos incluem nas estimativas de vida útil uma componente probabilística, sendo obtidos intervalos de possíveis valores de vida útil, associados a uma probabilidade de ocorrência (Garrido, 2010). De acordo com Leira *et al.* (1999), estes modelos devem ser utilizados como complemento do conhecimento dos materiais, visto permitirem uma melhor compreensão dos fenómenos físicos da degradação. Segundo Cecconi (2002), estes métodos são usualmente muito complexos e envolvem uma extensa recolha de dados de modo a permitir amostras suficientemente representativas, resultando em grandes dispêndios de tempo e custo monetário, sendo a sua aplicação apenas aconselhável para projectos em grande escala. Gaspar (2002) apresenta como os principais inconvenientes a complexidade dos modelos matemáticos utilizados, a necessidade de um grande número de dados recolhidos ao longo de um largo período de tempo e, por fim, a enorme dependência no trabalho de campo. Em suma, o acréscimo de sofisticação do modelo é equilibrado pela sua maior complexidade.

##### **1.4.2.1 Modelo de Markov**

As cadeias de Markov são um dos métodos probabilísticos mais utilizados no estudo da degradação das construções. O modelo de Markov descreve a deterioração através de variáveis aleatórias, sendo considerada a probabilidade de transição de um nível de degradação para outro, dependendo das acções realizadas, ou não, sobre a construção (Noortwijk *et al.*, 2004). Este modelo pode ser aplicado com o objectivo de otimizar as estratégias de manutenção e reparação, sendo necessário para a obtenção de bons resultados uma base de dados fiável e consistente (Leira *et al.*, 1999). O desenvolvimento de uma base de dados como a descrita representa um processo dispendioso, ao qual ainda terá de ser associada a obtenção dos dados relativos às probabilidades de degradação, algo que não pode ser alcançado directamente como o comportamento real do elemento de construção (Duling *et al.*, 2008).

##### **1.4.2.2 Trend plots**

A aplicação deste método passa pela identificação dos factores associados a cada processo de degradação, do padrão de degradação real dos casos de estudo de acordo com sistemas de contagem e pela previsão do desenvolvimento expectável da referida degradação através de uma extrapolação ou contagem de ocorrências (Gaspar, 2002). Segundo Leira *et al.* (1999), trata-se de um método de simples aplicação, mas que está dependente de uma grande quantidade de informação relativa à durabilidade de um dado elemento.

#### **1.4.3 Métodos de engenharia**

Os métodos de engenharia procuram harmonizar os dois grandes grupos de métodos descritos, os determinísticos e os probabilísticos ou estocásticos. Estes métodos (*engineering "design" methods*) são de fácil utilização, em semelhança ao método factorial, mas procuram descrever os processos de degradação de forma probabilística (Cecconi, 2002). De acordo com Moser (2004), para a aplicação destes métodos, na

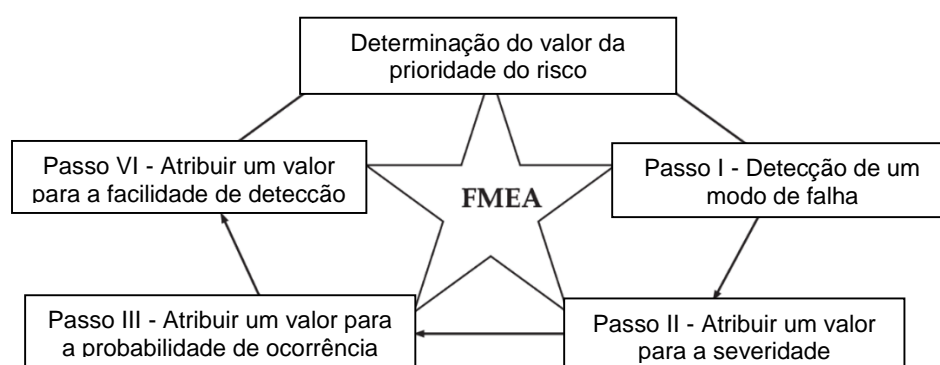
maioria dos casos, o método factorial pode servir como ponto de partida, seguida da recolha de informação em relação aos parâmetros para a definição da equação, sendo configurado um tipo de distribuição para cada um dos parâmetros identificados, após a qual é efectuado o cálculo da vida útil; após a revisão dos resultados obtidos, quando necessário, é possível implementar um maior detalhe (complexidade) na configuração dos parâmetros que influenciam a vida útil. Assim, estes métodos permitem identificar de uma forma mais analítica os fenómenos de degradação e, conseqüentemente, planear e controlar tais fenómenos em fase de projecto ou através do planeamento cuidadoso de manutenções (Daniotti, 2003).

#### 1.4.3.1 Failure modes effects analysis (FMEA)

O método *Failure modes effects analysis (FMEA)* é aplicado para identificar potenciais modos de falha, determinar o seu efeito na utilização do produto, e identificar formas de mitigar as falhas. É realizada uma análise aos potenciais problemas numa fase inicial de desenvolvimento, fase na qual é mais fácil tomar acções preventivas, melhorando a qualidade do projecto. A função *RPN (risk priority number)* permite determinar quais os campos que requerem uma maior atenção, sendo a função apresentada na equação (1.2), em que *S* representa a severidade do efeito da falha, *P* é a probabilidade de ocorrência dessa mesma falha, e *D* a sua facilidade de detecção. Quanto maior o valor de *RPN*, maior deve ser a prioridade atribuída à acção de análise e correcção da falha (Kiran, 2017).

$$RPN = S \times P \times D \quad (1.2)$$

Na Figura 1.3, são apresentadas as etapas a seguir na aplicação do método FMEA, e a sua relação com a função *RPN*. Este método pode ser transposto para o sector da construção, para a aplicação na garantia da certificação dos produtos de construção (Lair *et al.*, 2001). De acordo com Talon *et al.*, (2005), um dos objectivos do método é obter uma lista o mais completa possível sobre os agentes de degradação que actuam sobre os edifícios. As vantagens do uso deste método são a sua fácil aplicação ao nível do componente, fácil interpretação e uma rápida identificação das falhas. Porém, este modelo apenas permite abordar um componente de cada vez, não relacionando as interacções entre diferentes sistemas, sendo necessária uma equipa de estudo com elevada experiência para a obtenção de bons resultados (O'Mara, 1991).



**Figura 1.3 - Os cinco passos básicos para a aplicação do método FMEA (adaptado de Kiran, 2017)**

#### 1.4.3.2 Performance Limits method (PLM)

Este método tem como objectivo a avaliação da durabilidade dos componentes do edifício, através da simulação do seu desempenho ao longo do tempo, até ser atingido um limite mínimo aceitável. De acordo com Daniotti e Spagnolo (2008), o método pode ser descrito em cinco passos, definição dos objectivos de desempenho, a especificação dos requisitos de desempenho associados ao componente,

a transformação das especificações de desempenho em características técnicas e funcionais, a especificação dos limites de desempenho e a avaliação da vida útil.

## **1.5 Enquadramento normativo**

A crescente preocupação com o planeamento e gestão dos recursos disponíveis na construção, associada à componente da sustentabilidade, resultam na existência a nível internacional de diversas normas e regulamentos com o intuito de estabelecer metodologias que permitam avaliar a durabilidade das construções e a sua vida útil. Segundo Silva (2015), existe um incremento no número de países que desenvolvem normas com o intuito de regular a previsão da vida útil e durabilidade dos edifícios e seus componentes. Neste subcapítulo, são abordados os regulamentos mais conhecidos, o japonês, o inglês e a norma ISO 15686 (Cecconi, 2002), assim como o Regulamento Geral das Edificações, a nível nacional.

### **1.5.1 *Principal guide for service life planning of buildings* - Japão**

No ano de 1979, o *Architectural Institute of Japan* decide organizar uma comissão para sistematizar o conceito de durabilidade na construção, como resultado, mais tarde, em 1989, é publicado o primeiro documento normativo a abordar a durabilidade e previsão da vida útil, posteriormente traduzido para inglês no documento "*Principal guide for service life planning of buildings*" (AIJ, 1993). De acordo com Rubbeck (2002), o documento estabelece um guia para a previsão da vida útil do edifício, visto como um todo, ou ainda por partes ou componentes, sendo o fim de vida útil definido pela deterioração física ou obsolescência. Esta metodologia é considerada pioneira a nível mundial, representando a origem dos métodos factoriais referidos acima, nos quais a vida útil estimada é obtida através do produto entre a vida útil de referência e um conjunto de factores associados às condições específicas do elemento em análise (Silva, 2015).

### **1.5.2 ISO 15686 (*Building and construction assets service life planning*)**

A ISO 15686 resulta dos esforços internacionais em normalizar a durabilidade dos produtos da construção, constituindo uma das fontes de informação mais relevantes no que respeita à previsão da vida útil (Athena Institute, 2006). A ISO 15686 define os princípios gerais, enquadramento e procedimento para a aplicação da metodologia de previsão da vida útil proposta, assim como os critérios de desempenho funcional que devem ser cumpridos em fase de projecto e ao longo da vida da construção, que acabam por influenciar a definição da vida útil dos elementos (Hed, 1999). A Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Standardization*, ISO) e Sjöström *et al.* (2002, 2008) definem o objectivo das diferentes partes da ISO 15686, como é possível observar na Tabela 1.1.

### **1.5.3 *Guide to durability of buildings and components* - Reino Unido**

A BS (*British Standard*) 7543 tem como objectivo oferecer orientação sobre a durabilidade, vida útil de projecto e a previsão da vida útil de construções e dos seus componentes. A norma contém as informações necessárias para a definição da vida útil de um material ou componente da construção, nomeadamente o período durante o qual a durabilidade deve ser avaliada e as condições a que os materiais se encontram expostos, assim como os níveis de manutenção e condições de uso que devem ser respeitadas (Kelly, 2007). Segundo Moser (2004), de acordo com a norma, a previsão da vida útil pode ser realizada das seguintes maneiras: através de uma experiência ocorrida com uma construção similar, quer em termos de ocupação quer em ambientais semelhantes; medindo a taxa de deterioração natural num curto período de tempo de utilização ou exposição e estimar o limite da durabilidade; ou



ainda, através de ensaios de degradação acelerada; sendo este método de elevada complexidade, devido à necessidade de simular cenários reais, tornando-se indispensável uma precaução acrescida para evitar efeitos distintos ao mudar a intensidade natural dos agentes.

**Tabela 1.1 - Normas da série ISO 15686**

<b>Norma</b>	<b>Título</b>	<b>Descrição</b>
ISO 15686-1:2011	<i>General principles and framework</i>	Identifica e define os princípios gerais do planeamento da vida útil e a estrutura sistemática a adoptar para a estimativa da vida útil de um edifício
ISO 15686-2:2012	<i>Service life prediction procedures</i>	Procedimentos para a previsão de vida útil dos componentes de um edifício, baseado num desempenho técnico e funcional
ISO 15686-3:2002	<i>Performance audits and reviews</i>	Abordagem e procedimentos para uma eficaz implementação do planeamento da vida útil, a adoptar durante a fase de projecto e nas diferentes fases de obra
ISO 15686-4:2014	<i>Service Life Planning using Building Information Modelling</i>	Fornece informação sobre os requisitos de dados necessários para a realização do planeamento de vida útil
ISO 15686-5:2017	<i>Life-cycle costing</i>	Procedimentos e requisitos para o desenvolvimento do modelo económico LCC ( <i>Life Cycle Cost</i> ) em edifícios e seus componentes, tendo em conta os custos de gestão e de manutenção das construções
ISO 15686-6:2004 (em revisão)	<i>Procedures for considering environmental</i>	Abordagem dos impactes ambientais das diferentes soluções de projecto e a sua ligação com a análise de vida útil ambiental (LCA - <i>Life Cycle Analysis</i> ), e ainda o planeamento da vida útil das construções
ISO 15686-7:2017	<i>Performance evaluation for feedback of service life data from practice</i>	Fornece uma base genérica para a avaliação de desempenho do <i>feedback</i> da vida útil de edifícios existentes e activos construídos, incluindo ainda a definição dos termos a serem utilizados e como o desempenho técnico deve ser descrito e documentado
ISO 15686-8:2008	<i>Reference service life and service-life estimation</i>	Procedimentos para a prestação, selecção e formatação dos dados da vida útil de referência e a aplicação destes dados para estimar a vida útil por aplicação do método factorial
ISO 15686-9:2008	<i>Guidance on assessment of service-life data</i>	Fornece um guia para a apresentação dos dados de vida útil de referência
ISO 15686-10:2010	<i>When to assess functional performance</i>	Estabelece quando se deve especificar ou verificar os requisitos de desempenho funcional, durante a vida útil dos edifícios, e quando verificar a capacidade dos edifícios em responder às necessidades identificadas
ISO 15686-11:2014	<i>Terminology</i>	Fornece uma compilação dos termos e definições de conceitos para estabelecer um vocabulário aplicável tanto na construção como na utilização de um edifício, e ainda no planeamento da vida útil do mesmo

#### **1.5.4 Regulamento Geral das Edificações - Portugal**

Em 2003, é proposto o projecto de Regulamento Geral das Edificações (RGE), com o objectivo de substituir o Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) de 1951 (DL n.º 38382). As alterações ao anterior regulamento surgem nas áreas da vida útil, segurança, ambiente, energia, sustentabilidade, manutenção e durabilidade, defesa do consumidor e gestão da qualidade (Santos, 2010). O RGE, segundo a proposta do Concelho Superior de Obras Públicas e Transportes (2004), presente na portaria nº 62/2003 de 16 de Janeiro, Despacho n.º 5493/2003 de 27 de Fevereiro, e apesar de não se encontrar em vigor, estabelece relativamente à vida útil das construções as seguintes considerações: i) a vida útil de uma edificação corresponde ao período de tempo em que a estrutura não apresenta degradação dos materiais, resultantes das condições ambientais, que resultam na redução do nível de segurança inicial (Artigo 117º, n.º 1); durante a vida útil das edificações, devem ser realizadas acções de inspecção, manutenção e reparação, nomeadamente sobre os diversos componentes da edificação que tenham uma durabilidade inferior à vida útil da edificação (Artigo 117º, n.º 2); iii) a vida útil dos componentes da edificação deve ser definida pelo fabricante, tendo por base a experiência obtida pela utilização dos mesmos (Artigo 117º, n.º 3); iv) a vida útil estimada deve ser definida pelo dono de obra, sendo considerado o valor de 50 anos por defeito, quando tal não acontece (Artigo 117º, n.º 4).

## 1.6 Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em 5 capítulos. No presente capítulo, apresenta-se uma abordagem sumária ao conceito de vida útil, assim como as diferentes teorias para a sua definição, sendo ainda referidos alguns dos documentos normativos a nível internacional e nacional com maior relevância. São apresentados os diversos métodos para o cálculo da previsão de vida útil, sendo o utilizado na presente dissertação para o cálculo da previsão da vida útil de caixilharias o método gráfico.

O Capítulo 2 tem como objectivo caracterizar os diversos tipos e componentes das caixilharias, sendo apresentado o diverso vocabulário utilizado na sua descrição; os diferentes materiais utilizados para a produção das caixilharias e as suas vantagens e desvantagens; as exigências funcionais a cumprir segundo as normas nacionais e internacionais; e ainda as diferentes anomalias associadas a cada um dos componentes das caixilharias e as suas consequências no desempenho do sistema.

No Capítulo 3, são descritos os objectivos e a metodologia implementada durante a realização do trabalho de campo; é definida a informação presente na ficha de inspecção; descrevem-se os casos analisados e os casos excluídos, sendo evidenciados os motivos para a exclusão; é efectuada a definição e classificação dos níveis de degradação, relacionando as anomalias a níveis de degradação que reflectem a sua severidade; por fim, efectua-se uma análise dos dados recolhidos em campo, segundo as zonas estudadas, os hábitos dos utilizadores e as anomalias detectadas nos diferentes materiais.

No Capítulo 4, é apresentada a metodologia para a previsão da vida útil de caixilharias, com base nos dados recolhidos no trabalho de campo; é avaliada a evolução da degradação segundo as diversas características das caixilharias e extensão da degradação segundo os principais grupos de componentes; por fim, os resultados obtidos são analisados e é proposta uma vida útil média segundo o material da caixilharia.

O Capítulo 5 contém as diversas conclusões retiradas do trabalho desenvolvido, sendo ainda sugeridas melhorias e desenvolvimentos futuros para a metodologia elaborada.

Na bibliografia, são indicados os documentos que serviram de referência à elaboração da dissertação. Em anexo são apresentados dados importantes na elaboração do presente trabalho, mas que não foram incluídos no corpo de texto; é apresentada a ficha de inspecção utilizada durante o trabalho de campo (Anexo A); no Anexo B, é exibida uma descrição sumária dos edifícios estudados; no Anexo C, são caracterizadas as caixilharias analisadas; por fim, no Anexo D, é efectuada a caracterização do estado de degradação das caixilharias analisadas.

## 2. Caracterização da caixilharia e da sua patologia

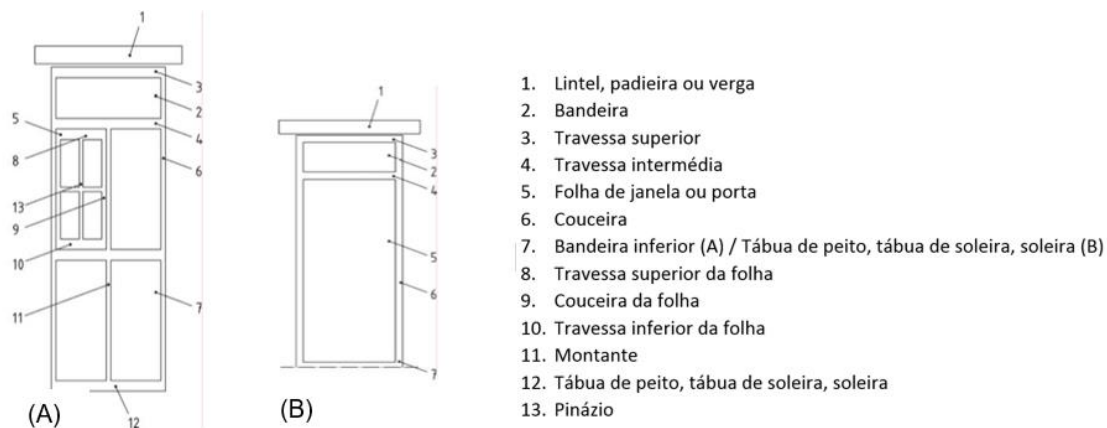
### 2.1 Introdução

Com o intuito de melhorar as condições de habitabilidade dos edifícios e dar resposta à evolução arquitectónica, foram desenvolvidos ao longo da história da construção novos materiais, componentes e técnicas construtivas. No caso particular das caixilharias, o avanço das exigências funcionais e arquitectónicas resultam no desenvolvimento de novos materiais para as caixilharias, técnicas de aplicação e construção, com a finalidade da melhoria do desempenho energético e durabilidade.

Neste capítulo são caracterizados os materiais das caixilharias mais comuns no parque habitacional nacional e que são alvo de estudo durante a dissertação: a madeira; o ferro / aço; o alumínio; e o PVC (cloreto de polivinilo). É também feita uma revisão das exigências funcionais a satisfazer pela caixilharia e apresentada uma classificação das suas anomalias.

### 2.2 Tipos de caixilharias e seus componentes

De forma a caracterizar correctamente as caixilharias é necessário elucidar os termos utilizados na definição dos vários elementos, uma vez que estes variam conforme a tipologia e o material da caixilharia. A norma NP EN 12519: 2008 define o vocabulário e terminologia a utilizar, sendo esta apresentada na Figura 2.1 e um exemplo dos componentes utilizados numa caixilharia na Figura 2.2.



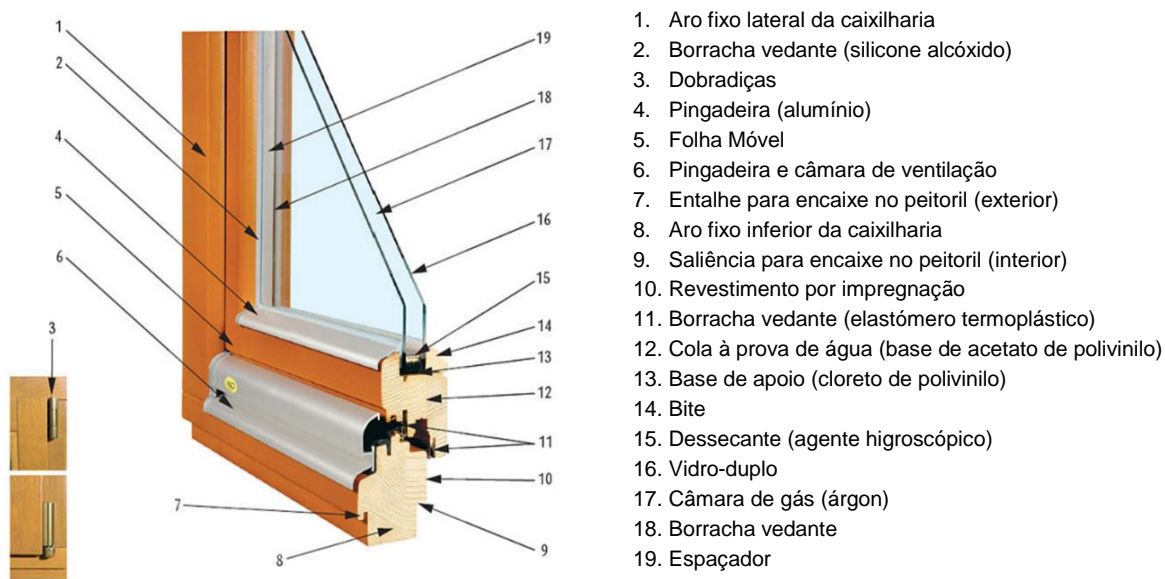
**Figura 2.1 - Terminologia dos vários elementos da caixilharia, A (esquerda) e B (direita), (NP EN 12519:2008 e Costa, 2014)**

#### 2.2.1 Tipologias das caixilharias

Segundo a Informação Técnica de Edifícios (ITE) n.º 56, elaborada pelo LNEC (Pinto e Fernandes, 2011), os vãos envidraçados podem ser classificados pela família de produtos, o tipo de uso, pela persiana e pelo número de folhas móveis / fixas. A família de produtos é dividida em três tipos: janela vertical exterior; janela de cobertura; e porta pedonal exterior. Quanto ao tipo de uso o vão envidraçado pode ser de utilização privada ou pública. As persianas podem ser classificadas como: com caixa de estore incorporada; ou sem caixa de estore incorporada, encontrando-se esta última em maior desuso.

Existem diversos tipos de folhas móveis, com vantagens e desvantagens associadas ao seu uso. A maior parte está relacionada com o seu espaço de operação, permeabilidade ao ar e estanqueidade inerente. Os vários tipos estão também usualmente divididos em classes: I corresponde a janelas fixas; II a janelas de movimento simples; e III a janelas de movimento composto (Vicente, 2012). Nas Tabelas

2.1 e 2.2, apresenta-se de forma resumida as vantagens e desvantagens dos sistemas mais comuns no parque habitacional.



**Figura 2.2 - Componentes utilizados numa caixilharia de vidro duplo em madeira lamelada (adaptado de ALBO, 2017)**

## 2.2.2 Componentes das caixilharias

Os componentes utilizados nas caixilharias desempenham um papel fulcral no seu bom funcionamento, assim a compatibilização dos diversos materiais utilizados e sua correcta aplicação tem implicações directa na durabilidade total do sistema. Apesar de existir uma grande diversidade nos componentes utilizados, são agora descritos os comuns e indispensáveis aos diversos tipos de caixilharias.

### 2.2.2.1 Vidro


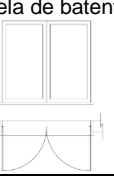
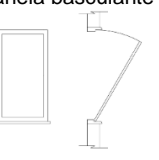
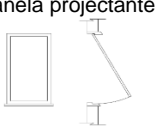
O vidro é um material inorgânico, homogéneo e amorfo, comum a todos os tipos de caixilharias, desempenha um papel central e fundamental no desempenho do sistema. O vidro para janelas (vidro de silício-soda-cálcio) é composto por: vitrificante - sílica -  $\text{SiO}_2$  (70%); fundente - soda -  $\text{Na}_2\text{O}$  (15.0%); estabilizante - óxido de cálcio -  $\text{CaO}$  (10%); e outros. Estes constituintes podem variar conforme as características que se procuram obter na constituição do vidro, sendo a sílica o constituinte base (Gomes e Pinto, 2009a).

O vidro é caracterizado pela sua transparência e durabilidade, permitindo a iluminação natural do interior do edifício em conjugação com a protecção contra as condições atmosféricas adversas. Na selecção do tipo de vidro a utilizar na caixilharia, deve-se ter em consideração a localização do edifício, a orientação do vão envidraçado, o nível de segurança, conforto acústico e conforto térmico pretendidos.


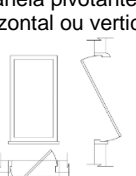
Os tipos de vidros podem ser divididos em vidro normal, vidro de eficiência energética, vidro de visibilidade reduzida, vidro de segurança e vidro especial.

Os vidros de eficiência energética, como o nome indica, destinam-se sobretudo a melhorar o desempenho térmico, reduzindo os gastos com a climatização e por isso uma melhor eficiência energética. São de destacar: o vidro duplo (Figura 2.2), formado por duas folhas de vidro que selam entre si gás inerte resultando num melhor isolamento térmico e sonoro; e o vidro de baixa emissividade, formado por uma folha de vidro na qual se aplica uma película de um material de baixa emissividade, uma emissividade mais baixa aumenta a reflexão de calor que por sua vez aumenta a capacidade de isolamento térmico da janela.

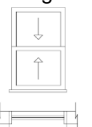

**Tabela 2.1 - Tipo de folha móvel, características, vantagens e desvantagens, classes I e II (adaptado de Gomes, 2007, Vicente, 2012, e Costa, 2014)**

Classe	Tipo	Características	Vantagens	Desvantagens
I	Janela fixa 	Corresponde a um caixilho que não permite qualquer tipo de movimento de abertura.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não permite a abertura do vão para ventilação e limpeza;</li> <li>• necessita de colocação de grelhas de ventilação.</li> </ul>
II	Janela de batente 	É formada por uma ou mais folhas que se movimentam mediante a rotação em torno de eixos verticais fixos, coincidentes com as partes laterais das folhas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite ter o vão aberto a 100% para ventilação;</li> <li>• facilidade de limpeza da parte exterior;</li> <li>• boa estanqueidade à água e ao ar;</li> <li>• permite a colocação de folhas de abertura para o interior ou de abertura para o exterior;</li> <li>• a abertura favorece a manutenção da caixilharia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quando a abertura é efectuada para o interior, o movimento da folha retira espaço habitável, sendo por isso de evitar a sua utilização em vãos de maior dimensão;</li> <li>• não permite regular o fluxo de ar para ventilação;</li> <li>• caso a abertura se efectue para o exterior não permite a instalação de grades de protecção.</li> </ul>
	Janela basculante 	Possui uma ou mais folhas que podem ser movimentadas por rotação em torno de um eixo horizontal fixo, situado na extremidade inferior da folha.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite ventilação mesmo em condições de chuva sem vento;</li> <li>• boa estanqueidade ao ar e à água;</li> <li>• não ocupa espaço interior com o movimento de abertura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpeza difícil na parte exterior;</li> <li>• não permite ter o vão 100% aberto;</li> <li>• não permite direccionar o fluxo de ar;</li> <li>• necessidade de rigidez da caixilharia para evitar deformações;</li> <li>• sistema de abertura exige acessórios de custo elevado;</li> <li>• caso a abertura se efectue para o exterior não permite a instalação de grades de protecção.</li> </ul>
	Janela projectante 	Possui uma ou mais folhas que podem ser movimentadas por rotação em torno de um eixo fixo, situado na extremidade superior da folha.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite ventilação mesmo em condições de chuva sem vento;</li> <li>• boa estanqueidade ao ar e à água;</li> <li>• não ocupa espaço interior com o movimento de abertura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpeza difícil na parte exterior;</li> <li>• não permite ter o vão 100% aberto;</li> <li>• não permite direccionar o fluxo de ar;</li> <li>• caso a abertura se efectue para o exterior não permite a instalação de grades de protecção.</li> </ul>

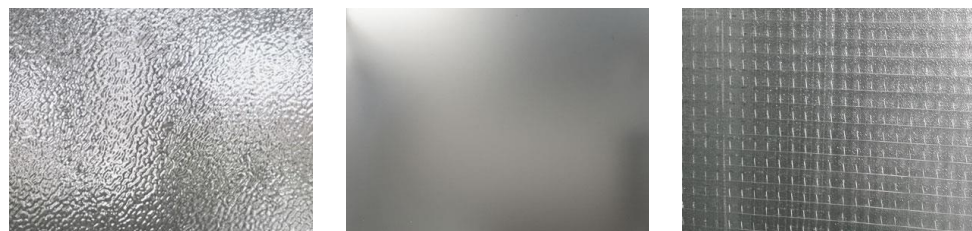
**Tabela 2.2 - Tipo de folha móvel, características, vantagens e desvantagens, classe II e III (adaptado de Gomes, 2007, Vicente, 2012, e Costa, 2014)**

Classe	Tipo	Características	Vantagens	Desvantagens
II	Janela de correr 	Possui uma ou mais folhas que se movimentam por deslizamento horizontal no plano da folha.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil operação e manutenção;</li> <li>• ventilação regulável conforme a abertura das folhas;</li> <li>• sistema de abertura não ocupa áreas internas ou externas, facilidade na implementação de sistemas de protecção;</li> <li>• possibilidade de implementação em grandes vãos, permite a utilização de folhas de grande dimensão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vão livre para ventilação de apenas 50%;</li> <li>• dificuldade de limpeza na parte exterior;</li> <li>• riscos de infiltração de água através dos drenos da calha inferior, em vedações mal executadas.</li> </ul>
III	Janela pivotante (horizontal ou vertical) 	Possui uma ou mais folhas que podem ser movimentadas por rotação em torno de um eixo horizontal ou vertical, não coincidente com as partes laterais e com a extremidade da folha.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidade de limpeza da parte exterior;</li> <li>• a janela pivotante horizontal permite direccionar o fluxo de ar para cima ou para baixo;</li> <li>• a pivotante vertical permite direccionar o fluxo de ar para a direita ou para a esquerda;</li> <li>• pouco espaço ocupado para efectuar os movimentos de abertura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitações em grandes vãos devido aos pontos de fecho.</li> </ul>

**Tabela 2.2 - Tipo de folha móvel, características, vantagens e desvantagens, classe II e III (adaptado de Gomes, 2007, Vicente, 2012, e Costa, 2014)  
(continuação)**

Classe	Tipo	Características	Vantagens	Desvantagens
III	Janela de guilhotina 	É constituída por uma ou mais folhas que se movimentam por deslizamento vertical no plano da janela.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de operar;</li> <li>• ventilação regulável conforme a abertura das folhas;</li> <li>• sistema de abertura não ocupa áreas internas ou externas, facilidade na implementação de sistemas de protecção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tem as mesmas desvantagens da janela de correr;</li> <li>• exige manutenção mais frequente para a regulação dos cabos e o nivelamento das folhas;</li> <li>• risco de quebra dos cabos.</li> </ul>
	Janela oscilo-batente 	Possui uma ou mais folhas que podem ser movimentadas em torno de eixos horizontais e verticais fixos, coincidentes com a parte lateral e a extremidade inferior da folha.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As mesmas vantagens das janelas de batente (podendo ser utilizada com esse tipo);</li> <li>• permite que o caixilho esteja aberto no movimento basculante para ventilar sem que dê origem a correntes de ar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tem as mesmas desvantagens das janelas do tipo batente e basculante.</li> </ul>

Os vidros de visibilidade reduzida destinam-se a reduzir a transparência inerente do vidro, garantindo ainda assim a passagem de luminosidade. São de destacar: o vidro impresso (Figura 2.3), obtido através da impressão de texturas na superfície do vidro quando ainda quente, bloqueando parcialmente a transparência do vidro; e o vidro opaco (Figura 2.3) que pode ser obtido através da utilização de abrasivos na superfície do vidro, permitindo o seu uso em casas de banho e portas exteriores envidraçadas, visto não permitir a visão para o interior.



**Figura 2.3 - Vidro impresso (à esquerda), vidro opaco (ao centro) e vidro aramado (à direita) (MarVidro, 2017)**

Os vidros de segurança destinam-se a utilizações em que o vidro se encontra exposto a uma maior probabilidade de quebra, sendo por isso as suas características de resistência melhoradas. O vidro laminado, é constituído por duas ou mais folhas de vidro coladas em toda a sua superfície por um intercalar, o qual é normalmente constituído por uma película de material sintético, usualmente PVB (butiral de polivinilo), a este intercalar podem ser exigidas várias funções, nomeadamente, prevenir a queda de fragmentos de vidro, melhorar o isolamento sonoro, a segurança contra incêndio, armas de fogo, e arrombamento. O vidro temperado, obtido através do tratamento térmico, tem o objectivo de aumentar a resistência mecânica e modificar a fragmentação do vidro, é usualmente utilizado em edifícios com grandes áreas envidraçadas.

O vidro aramado (Figura 2.3), é obtido através da incorporação de uma malha metálica na massa vítrea, em caso de quebra os estilhaços serão suportados pela malha, devido a esta característica é utilizado em coberturas, guarda-corpos e divisórias. Os tipos de vidro referidos são habitualmente conjugados de forma a obter sistemas de melhor desempenho, sendo usual a utilização de vidro de baixa emissividade e vidro duplo de forma a maximizar a inércia térmica. É ainda de referir alguns dos avanços tecnológicos nesta área. O vidro inteligente ou *smart glass*, com uma grande variedade de aplicações, permite a alteração em tempo real das características de transparência do vidro (Lampert, 2003). O vidro de autolimpeza, composto por um vidro simples revestido por uma capa de material foto catalítico, hidrófilo e transparente, possibilita a redução da frequência de limpeza (Saint-Gobain, 2017).

### 2.2.2.2 Mastiques e borrachas vedantes

As borrachas e fitas vedantes têm o objectivo de isolar e garantir a estanquidade entre o aro e a folha móvel da caixilharia. As borrachas vedantes são caracterizadas pela sua resistência a deformações permanentes, a resistência química (detergentes, UV, entre outros), e a estabilidade dimensional para temperaturas entre os -20 e 170°C (ABCI, 1992). Actualmente o material mais regularmente utilizado é a borracha sintética EPDM (monómero sintético constituído por Etileno, Propileno, e Dieno) (Costa, 2014). Algumas das geometrias utilizadas na produção das borrachas podem ser visualizados na Figura 2.4.

Os mastiques são utilizados na maioria das juntas e são caracterizados pela sua capacidade de acomodar ligeiras movimentações, pela sua aderência e facilidade de aplicação (Giacomini, 2007). Os materiais usualmente utilizados são: os betumes acrílicos e butílicos; polissulfeto; poliuretano; e na grande maioria dos casos de reabilitação de caixilharias de madeira e ferro, a massa de vidraceiro, cujo exemplo de aplicação pode ser visualizado na Figura 2.5 (Giacomini, 2007 e ABCI, 1992).

Segundo a investigação de Albano (2005), os mastiques aplicados nas caixilharias devem ser substituídos entre 10 a 15 anos após a sua aplicação, quando comparado com os tempos dos outros componentes, 15 anos para as ferragens e 25 para o caixilho, é aparente que os mastiques e borrachas vedantes podem ser um elemento limitador do tempo de vida do conjunto. Por este motivo a sua correcta aplicação e manutenção é indispensável, de forma a garantir a estanquidade do sistema caixilho-vidradado, e por consequência a durabilidade do caixilho em si.

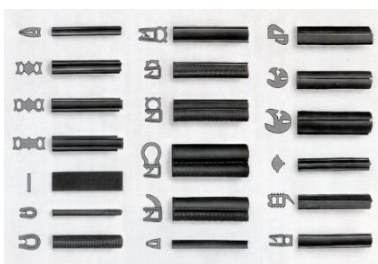


Figura 2.4 - Diversos tipos de borrachas vedantes (Tims, 2017)



Figura 2.5 - Aplicação de massa de vidraceiro (DiyNetwork, 2017)

### 2.2.2.3 Ferragens

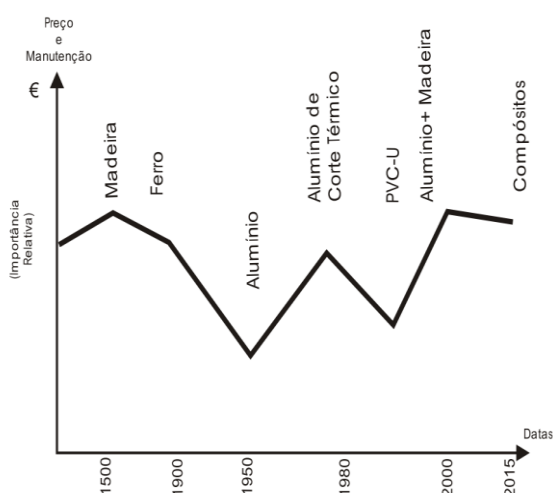
As ferragens são responsáveis pela fixação e / ou operacionalidade dos componentes da caixilharia, o tipo de ferragens usadas depende da tipologia e do uso previsto, é também necessário garantir a compatibilidade entre os materiais utilizados, de forma a assegurar a longevidade dos componentes. Algu-



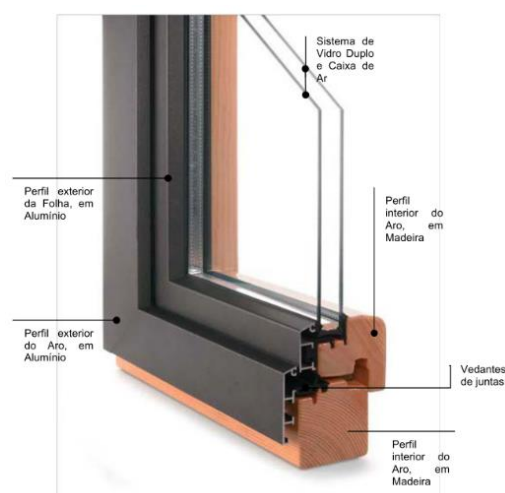
mas das ferragens utilizadas são: dobradiças; puxadores; fechos; fechaduras; pivôs; e braços de reversão (Costa, 2014). Os materiais utilizados na sua produção são: o alumínio extrudido, o alumínio fundido, o latão, o aço inox, o *zamak* (liga de zinco-alumínio-magnésio-cobre), o *chumbaloy*, o *nylon*, o *poliacetal* e o aço 1020 (ABCI, 1992).

## 2.3 Materiais

A caixilharia pode ser constituída por diversos tipos de materiais. Os mais comuns no parque habitacional nacional e que serão alvo de estudo durante a dissertação são: a madeira; o ferro / aço; o alumínio; e o PVC (cloreto de polivinilo). Os materiais utilizados para o fabrico de caixilharias têm sofrido melhorias e actualizações ao longo do tempo, com o intuito de otimizar o seu desempenho em relação a diversos requisitos, mencionados no próximo subcapítulo, mas com especial atenção às características térmicas e de durabilidade. Na Figura 2.6, encontra-se representado sobre a forma de gráfico a evolução dos materiais utilizados ao longo do tempo e o seu custo de aquisição e manutenção relativo. Sobre esta linha de pensamento, surgiram várias soluções, das quais é de destacar: a utilização de materiais como os compósitos de fibra de vidro, PRFV (poliéster reforçado com fibra de vidro), poliuretano, e as caixilharias mistas que são constituídas por dois materiais distintos, procurando conjugar as vantagens dos dois materiais. Na Figura 2.7, está representada uma caixilharia de alumínio e madeira, tirando partido da durabilidade do alumínio, expondo este material ao ambiente exterior, e do maior conforto inerente da madeira, colocando-a pelo interior.



**Figura 2.6 - Evolução dos materiais utilizados na caixilharia ao longo do tempo (Chaves, 2003)**



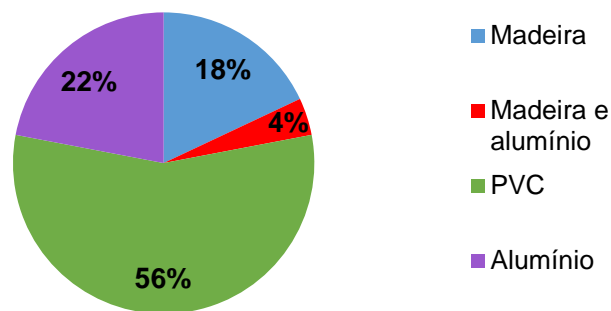
**Figura 2.7 - Caixilharia mista, alumínio e madeira (Moreira e Flórido, 2008)**

Na Figura 2.8, é possível observar os resultados da cota de produção de caixilharias segundo os diferentes materiais, na Europa no ano de 2009. O PVC lidera com 56%, mas inferior a anos anteriores, o alumínio mantém a sua cota de 22%, e a madeira em decrescente com 18% (Harwell, 2012).

### 2.3.1 Madeira

A madeira é um material clássico na indústria da construção, obtido através do tecido das plantas lenhosas e é caracterizada por: ser um material orgânico e naturalmente sólido; ser um material anisotrópico; ter uma boa relação de resistência / peso; e ser de fácil extracção, trabalhabilidade e de grande disponibilidade (Pinto e Gomes, 2011).





**Figura 2.8 - Cota de produção do tipo de caixilharias, no ano de 2009, Europa (adaptado de Harwell, 2012)**

As desvantagens da utilização da madeira em caixilharias são a necessidade de boa manutenção, a dificuldade na selecção do tipo de madeira apropriado (requer conhecimentos técnicos específicos), o facto de se tratar de um material vulnerável a diversos agentes agressivos, e por fim no caso de madeiras exóticas o alto preço e dificuldade de aquisição (Santos *et al.*, 2017).

Apesar das desvantagens mencionadas, no caso de a madeira ser de boa qualidade e tratada, esta é durável, apresenta bom isolamento térmico e acústico, e é dotada do aspecto estético tradicional aliado à autenticidade arquitectónica (Santos *et al.*, 2017).

Para o fabrico de caixilharias a madeira deve ser: facilmente trabalhável; de boa qualidade, não possuir nós, estar seca, baixa retractilidade; boa aptidão à colagem; e não apresentar indícios de contaminação por larvas ou fungos. Um importante avanço no seu fabrico é a madeira lamelada, composta por várias parcelas de madeira, que permite diminuir a susceptibilidade às variações das condições ambientais e por isso manifesta menor número de anomalias do que a madeira maciça (Santos *et al.*, 2017).

A utilização da caixilharia de madeira encontra-se em decréscimo na Europa e a sua implementação tem uma grande componente cultural, a Noruega, Suécia e Finlândia perfazem 70% da cota de mercado, de uma forma mais alargada as caixilharias em madeira dominam o mercado do norte da Europa representando uma cota de até 90% do mercado doméstico (Harwell, 2012).

### 2.3.2 Ferro / Aço

O ferro / aço é um material com grande expressividade na indústria da construção, usualmente aplicado em elementos estruturais de grande porte. A sua utilização em caixilharias deve-se ao facto de permitir executar caixilhos extremamente delgados, assim como cobrir maiores dimensões de vãos devido à sua elevada resistência (HUD, 1999). É também de destacar a capacidade de resistência ao fogo (aço galvanizado e aço inox), razão pela qual é implementada em pavilhões industriais e no fabrico de portas corta-fogo.

As desvantagens do uso do ferro / aço na produção de caixilhos são: preço de aquisição e manutenção elevados, em especial nos países com pouco tradição no seu uso; peso elevado, resultando em ferragens maiores e mais robustas; a susceptibilidade à corrosão; e o baixo desempenho térmico e acústico, em comparação com as outras alternativas.

Com a crescente preocupação e investimento na eficiência energética e na redução do custo do ciclo de vida dos materiais, a utilização de caixilharias de ferro / aço no parque habitacional tem pouca expressividade. A execução de novos elementos de caixilharias em ferro / aço encontra-se focado em casos de especial importância arquitectónica / artística, ou ainda em cenários de reabilitação de componentes históricos.

### 2.3.3 Alumínio

O alumínio é um metal não ferroso, extraído da bauxite ou obtido através da reciclagem de materiais usados. Segundo a investigação de Weir e Munner (1998), a energia utilizada e poluentes libertados na produção do alumínio é consideravelmente superior às alternativas de madeira e PVC. Por este motivo o processo de reciclagem do alumínio torna-se altamente atractivo, reduzindo a energia necessária para 7%, em comparação com a produção primária, e por consequência reduzindo também o impacte ambiental (Berge, 2001).

As vantagens do uso do alumínio na produção de caixilharias são: a leveza, cerca de 1/3 do ferro / aço; boas propriedades mecânicas; a sua durabilidade, boa resistência à corrosão atmosférica; a sua trabalhabilidade, facilmente extrudido e trabalhado numa variedade de formas; valor estético, com grande abundância de cores e acabamentos; e o facto de se tratar de um material não combustível (Teixeira, 1998).

A principal desvantagem do seu uso é a elevada condutibilidade térmica, porém este problema pode ser minimizado através da adopção do corte térmico. A caixilharia de alumínio com corte térmico é constituído por dois perfis de alumínio, unidos por um material de baixa condutibilidade térmica, usualmente é utilizado um polímero termoplástico, por exemplo a poliamida. De forma a promover a durabilidade as superfícies dos caixilhos em alumínio podem ser tratadas, os dois processos mais comuns são: a termolacagem, pintura electroestática com resina sintética; e a anodização, criação de um camada superficial de óxido de alumínio, 200 a 2000 vezes mais espessa que a formada naturalmente (Gomes e Pinto, 2009b).

Em Portugal a caixilharia de alumínio tem grande expressividade, correspondendo a 70% do mercado de caixilharias (Gomes, 2011). Por este motivo o seu custo de aquisição e manutenção, no país é inferior às alternativas, o PVC e a madeira.

Na Europa a caixilharia de alumínio é utilizada sobretudo em edifícios não residenciais, ou em casos de edifícios de maior altura, ou seja, situações em que existe maior exigência de segurança. É também de notar a alta cota de mercado deste tipo de caixilharias em Espanha (70%) e em Itália (37%) (Harwell, 2012).

### 2.3.4 PVC

O policloreto de vinilo, ou como é mais usualmente conhecido o PVC é um polímero termoplástico, com grande relevância em diversas indústrias, o seu uso em caixilharias ronda os 8% da produção global de PVC (Leadbitter, 2012). É um material sintético e é caracterizado por apresentar baixa condutibilidade térmica; capacidade de isolamento acústico; leveza, cerca de 60% da densidade do alumínio; alta resistência a ambientes poluídos e sais; e a facilidade de moldagem em formas complexas (Chaves, 2003 e Gomes e Pinto, 2014).

As desvantagens do uso deste material são: as propriedades mecânicas fracas; o elevado coeficiente de expansão térmica; mau desempenho a temperaturas elevadas; e limitado desempenho face ao fogo, podendo emitir gases tóxicos (HUD, 1999 e Chaves, 2003).

Quando implementado na produção de caixilharias, é usual a incorporação de reforços metálicos de forma a aumentar a rigidez do elemento, não sendo assim necessário diminuir a esbelteza do mesmo. Podem ser incorporados aditivos, durante a sua produção, de forma a reduzir a fragilidade ao choque e melhoria da trabalhabilidade, ou ainda a adição de estabilizantes com o objectivo de proteger o material contra a degradação devido ao calor, oxidação ou radiação solar (Asif *et al.*, 2002).

A caixilharia de PVC tem demonstrado grande potencial de crescimento em mercados emergentes, chegando a ultrapassar os 70% de cota de mercado em países como a Rússia, a Polónia e a Turquia (Harwell, 2012).

## 2.4 Exigências funcionais a cumprir pela caixilharia

Neste subcapítulo é feita uma revisão das normas e legislação Europeia e também nacionais aplicáveis às caixilharias.

### 2.4.1 Legislação Europeia

Os produtos e materiais de construção, para circular livremente dentro do espaço económico europeu, devem cumprir o regulamento EU N.º 305/2011, que engloba a caixilharia. De uma forma alargada o documento estabelece que as construções devem ser projectadas, construídas e demolidas de tal forma que o uso dos recursos naturais seja sustentável, e ainda assegurar os seguintes: a reciclabilidade das construções, dos seus materiais e componentes após a demolição; a durabilidade das construções; e o uso de materiais compatíveis com o meio ambiente. Para os produtos de construção, este documento estabelece o desempenho mínimo esperado, para que uma vez incorporados em obra cumpram os requisitos de segurança, saúde, conforto, durabilidade e protecção do ambiente (Pinto e Fernandes, 2011). Para que as caixilharias cumpram o regulamento referido, estas devem possuir a Marcação de Certificação CE e a respectiva Declaração de Conformidade. Para a obtenção da marcação CE, as caixilharias deverão cumprir os requisitos definidos na norma EN 14351-1: 2008 + A1: 2010. Segundo Pinto e Fernandes (2011), a avaliação da conformidade, na generalidade dos casos, requer:

- a realização de ensaios de tipo iniciais, por parte de um laboratório notificado;
- a implementação pelo fabricante de um sistema de controlo interno de produção, relativo às principais características a declarar pelo fabricante na etiqueta da marcação CE do seu produto.

Os ensaios do tipo iniciais têm o objectivo de demonstrar que os produtos cumprem os requisitos da norma, assim como garantir que as características declaradas pelo fabricante traduzem correctamente o seu desempenho (Santos, 2012), as características essenciais das janelas e portas e a norma para avaliação de desempenho respectiva, assim como o seu campo de aplicação são apresentadas na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3 - Ensaios do tipo inicial a realizar para janelas de peitoril / sacada e para portas pe-donais exteriores (Santos, 2012 adaptado de Pinto e Fernandes, 2011)**

Características essenciais	Norma a aplicar	Campo de aplicação
Resistência à acção do vento	EN 12211:2016	Todo o tipo de portas e janelas
Estanqueidade à água	EN 1027:2016	Todo o tipo de portas e janelas
Resistência mecânica dos dispositivos de segurança	EN 14609:2004	Portas e janelas com dispositivos de segurança
Desempenho acústico	EN ISO 140-3:1995 (ensaio) EN 14351-1+A1 (cálculo)	Todo o tipo de portas e janelas Tipos específicos
Coefficiente de transmissão térmica	EN ISO 12567-1:2010 (ensaio) EN ISO 12567-2:2005 (ensaio) EN ISO 10077-1:2006 (cálculo) EN ISO 10077-2:2012 (cálculo)	Todo o tipo de portas e janelas
Permeabilidade ao ar	EN 1026:2016 EN 14351-1+A1	Todo o tipo de portas e janelas
Altura da porta	Procedimento do fabricante EN 12519:2008	Para portas com vidro
Resistência ao impacto	EN 13049:2003	Para portas com vidro

A norma EN 14351-1: 2008 + A1: 2010 além das características necessárias para a obtenção da marcação CE, prevê ainda outros atributos relevantes, tais como: durabilidade; resistência mecânica; e a resistência a manobras repetidas de abertura e fecho.

Dentro da legislação Europeia é importante voltar a referir a DIRECTIVA 2010/31/EU “*The Energy Performance of Buildings*”, a directiva tem o objectivo de promover a melhoria da performance energética dos edifícios, e como descrito no Capítulo 1.1 do presente documento, a caixilharia desempenha um papel fundamental no seu alcance. Este documento em conjunto com as indicações do regulamento EU N.º 305/2011 reforçam a capacidade de isolamento, e a durabilidade como características essenciais da caixilharia.

### 2.4.2 Legislação Portuguesa

A caixilharia como componente das construções dispõe de legislação nacional, da qual decorrem exigências relativamente às seguintes características:

- Regulamento Geral das Edificações (RGEU), que estabelece normas qualitativas nos seguintes artigos:
  - o artigo 15º, onde é referido que todas as edificações deverão cumprir os requisitos necessários de forma a assegurar, de forma duradoura, as condições de segurança, salubridade e estética adequadas à sua utilização;
  - o artigo 16º, é aludido que os materiais e as técnicas de aplicação deverão também cumprir as condições mencionadas no artigo 15º, assim como outras especificações oficiais aplicáveis;
  - o artigo 17º, menciona as exigências a cumprir pelas edificações a contruir e a intervir, como por exemplo, exigências de economia de energia ou de isolamento térmico, e as demais estabelecidas no RGEU. É ainda referido neste artigo as certificações que os produtos da construção deverão satisfazer.
- Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE): i) desempenho acústico;
- Decreto-Lei n.º 118/2013, Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS): i) factor solar dos vãos envidraçados horizontais e verticais; ii) valores mínimos de caudal de ar novo.

Importa ainda mencionar a série de documentos publicados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) que, apesar de não possuírem carácter obrigatório, têm servido de guia para vários intervenientes da construção, como projectistas, fabricantes, instaladores de caixilharias e empresas de construção (Vicente, 2012), dos quais se destacam os seguintes:

- ITE 51 - Componentes de edifícios. Selecção de caixilharia e seu dimensionamento mecânico: i) estanqueidade à água; ii) resistência ao vento; iii) resistência ao impacto; iv) segurança dos dispositivos de manobra; v) permeabilidade ao ar;
- ITE 52 - Componentes de edifícios. Aspecto de segurança e resistência mecânica do vidro: i) resistência ao impacto;
- ITE 56 - Janelas e portas pedonais exteriores. Guia para a marcação CE.

## **2.5 Classificação das anomalias em caixilharias**

Neste subcapítulo são descritas as anomalias encontradas nas caixilharias, e que afectam os seus principais componentes e a sua durabilidade, assim como as possíveis causas e consequências dessas anomalias no desempenho do sistema. A degradação dos elementos da construção podem ter origem em diversos factores, estes podem ser agrupados em três grupos principais (Cóias, 2008):

- os físico-químicos: contaminantes atmosféricos, água (chuva, neve / gelo, vapor), temperatura (valores absolutos e amplitude de variação), radiação solar, entre outros;
- os de localização: geográficos (latitude, longitude, altitude), posição relativa (vertical, horizontal e orientação), ambiental (marítimo, rural, urbano, industrial);
- os biológicos: microorganismos (bactérias, fungos, musgos), flora e fauna.

São de destacar pela sua ocorrência os seguintes factores: a água, o gelo e sais, variações de temperatura, poluição atmosférica e a biodeterioração (Cóias, 2008).

### **2.5.1 Anomalias em vidro**

O vidro representa uma ampla percentagem da área do vão envidraçado, no entanto devido às boas características de durabilidade do vidro, este não apresenta uma grande variedade de anomalias. As anomalias usualmente encontradas estão relacionadas com condensações na superfície do vidro ou a sua fractura.

#### **2.5.1.1 Condensações sobre a superfície do vidro**

As condensações são caracterizadas pela formação de gotículas de água sob as superfícies do vidro, as condensações podem ocorrer na superfície externa, na superfície interna, ou no caso de se tratar de uma caixilharia de vidro duplo ou triplo, dentro da caixa-de-ar. No caso de a condensação ocorrer na superfície externa ou interna, as causas mais prováveis são o deficiente comportamento térmico do sistema, ou a concepção incorrecta de elementos de ventilação (ventilação insuficiente).

No caso de ocorrer no interior da caixa-de-ar as causas mais prováveis são a incorrecta concepção e / ou montagem do sistema, e a danificação da junta selante. Em qualquer dos casos a existência de condensações pode levar à degradação do material do caixilho (corrosão e apodrecimento), desenvolvimento de microorganismos, perda da capacidade isolante, e afectar negativamente o aspecto estético.

#### **2.5.1.2 Fractura de vidros**

A quebra de vidros do vão envidraçado pode ter uma grande variedade de causas, é de destacar o manuseamento incorrecto das partes móveis, colisão de objectos, actos de vandalismos, e as dilatações diferenciais (devido ao sombreamento). As consequências da quebra do vidro são severas caso este comprometa a impermeabilidade do sistema, ou implique riscos para os ocupantes do edifício.

### **2.5.2 Anomalias dos vedantes**

A degradação dos matiques e cordões de estanquidade é uma das anomalias mais frequentes nas caixilharias. No tratamento estatístico das anomalias observadas por Santos (2012), os vedantes apresentam a contribuição relativa mais elevada no total de anomalias inspeccionadas, com o valor de 18%. O fenómeno de degradação destes elementos pode ter origem numa grande diversidade de factores, e usualmente é resultado da sua conjugação, os agentes contribuintes mais comuns são (adaptado de Martins e Pereira, 2006):

- temperatura: exerce efeitos de dilatação e retracção térmica, assim como a modificação das características de deformação do material;
- sol: a radiação UV (ultravioleta) pode provocar a degradação química, pronunciando-se na alteração da cor do elemento;
- químicos: ambientes com concentrações altas de gases poluentes, assim como os produtos de limpeza podem provocar alterações químicas;
- água: pode ter uma acção física, química ou corrosiva; promovendo anomalias como a erosão, dissolução, endurecimento, formação de bolhas, entre outras;
- microorganismos: o ataque por agentes biológicos pode provocar a alteração do material, provocando, por exemplo, descoloração.

Além dos agentes referidos é ainda importante referir os casos em que existe uma colocação incorrecta dos elementos de vedação e a utilização de materiais de baixa qualidade, que aceleram o processo de envelhecimento. O envelhecimento dos materiais vedantes é caracterizado pela perda das suas características físicas e químicas, o desenvolvimento de anomalias pode levar à variação dimensional, perda de aderência, perda de deformabilidade e perda de material (Figura 2.9). Como consequência a estanquidade da caixilharia fica debilitada, assim como a durabilidade dos restantes componentes.



**Figura 2.9 - Início do descolamento do vedante (à esquerda), incorrecta vedação (ao centro) e colonização biológica (à direita)**

### **2.5.3 Anomalias em ferragens**

As ferragens da caixilharia permitem a operação dos diversos elementos móveis, a deterioração ou danos limitam essa operacionalidade, colocando em risco a funcionalidade do sistema. É usual fazer-se a distinção entre mecanismos de abertura / fecho e as dobradiças, devido a desempenharem funções algo distintas e existirem algumas diferenças na hierarquia das causas prováveis para as anomalias encontradas, por exemplo, no caso de arrombamento o mecanismo de abertura / fecho tem maior probabilidade de ser afectado quando comparado com as dobradiças.

As causas prováveis para o mau funcionamento ou estado danificado das ferragens são: o manuseamento incorrecto dos mecanismos ou partes móveis; a escolha inadequada do perfil, materiais, geometria ou sistema de caixilho em função do vão; utilização de mão-de-obra inexperiente ou pouco qualificada; vandalismo (arrobamento); e a presença de água (possibilidade de corrosão).

### **2.5.4 Anomalias do revestimento e do caixilho**

As anomalias encontradas no caixilho podem variar consoante o tipo de material utilizado, por este motivo serão em primeiro lugar descritas as anomalias comuns aos diferentes materiais das caixilharias e posteriormente a degradação dos diferentes materiais.

#### **2.5.4.1 Acumulação de detritos / sujidade / colonização biológica**

A acumulação de detritos ou outros materiais (folhas, aranhas e teias, excrementos de aves, respingos de tinta ou argamassa) em elementos do caixilho, em cordões de estanquidade ou até no vão circundante à caixilharia pode levar ao entupimento do sistema de evacuação de águas, e à sua estagnação. A existência de uma zona frequentemente húmida pode originar condições para o desenvolvimento de fungos e vegetação parasitária, e no caso das caixilharias de madeira, pode provocar alterações físicas severas, que poderão pôr em causa a operacionalidade da caixilharia e potenciar a acção de lenhívoros. No caso da acção de aves (fezes, cadáveres e resto de ninhos) é também importante considerar a componente química, que se traduz em reacções entre os ácidos produzidos pelo metabolismo dos agentes biológicos (presentes nas fezes) e o material que constitui a caixilharia (adaptado de Garcez, 2009).

#### **2.5.4.2 Folgas ou frestas**

As folgas ou frestas são espaços livres, de pequena dimensão, entre duas peças contíguas. Apesar de contribuírem para o mau desempenho acústico, térmico e isolante da caixilharia, as folgas e frestas possibilitam também a ventilação natural. As folgas ou frestas podem ser divididas consoante o local e / ou componentes afectado, são de destacar as folgas entre aro e vão ou entre aro e folha(s) e as juntas abertas ou frestas.

A folga entre aro e vão é resultado do processo de fabrico e necessária ao bom funcionamento da caixilharia, devendo acomodar as dilatações ou contracções do próprio caixilho, assim como no caso de caixilhos directamente solidários com a estrutura do edifício, as deformações associadas a esta, nomeadamente as flechas admissíveis às vigas (Martins e Pinto, 2004). Este espaço entre o caixilho e o vão acabado, é usualmente preenchido com argamassa, silicone ou poliuretano expandido (Santos, 2012). O outro tipo de folgas observáveis frequentemente são as folgas entre aro e folha(s), estas são obviamente necessárias para permitir o movimento das folha(s) móveis.

A folga incorrecta entre o aro e o vão ou entre aro e folha têm como causas prováveis a montagem / instalação incorrecta da caixilharia, a deformação do suporte, a especificação inadequada das folgas, e o preenchimento incorrecto das mesmas. As consequências possíveis da anomalia são: o deficiente desempenho acústico e térmico da caixilharia; a perda de estanquidade à água; e o aspecto estético afectado (Pereira, 2004).

As juntas dos caixilhos são a união entre dois elementos que funcionam solidariamente entre si. Estas são consequência do processo de montagem e por serem uma descontinuidade no material, representam uma zona de fragilidade. Caso as juntas se encontrem abertas, tal como no caso de anomalias em folgas, estas contribuem para a perda de estanquidade do sistema. As causas prováveis para a sua ocorrência são: a montagem / instalação incorrecta da caixilharia; a concepção deficiente do caixilho e / ou componentes (em fábrica); e a deformação do suporte.

#### **2.5.4.3 Deformações do caixilho**

As deformações são distorções, retracções, dilatações, empenos ou mossas nas peças do caixilho. Dependendo do local e severidade da deformação, pode colocar em causa o aspecto estético, a funcionalidade das partes móveis e a estanquidade do conjunto.

As causas prováveis para o desenvolvimento de deformações são: o manuseamento incorrecto das

partes móveis; a colisão de objectos; a escolha inadequada do perfil, geometria ou sistema de caixilho em função do vão; ou ainda agentes ambientais como a variação de temperatura e a humidade (madeira). A variação de temperatura tem efeitos de distorção, dilatação ou retracção sobre o caixilho, a amplitude da deformação está directamente ligada ao material utilizado e o respectivo coeficiente de dilatação térmica. As variações de humidade afectam sobretudo as caixilharias de madeira, provocando instabilidade dimensional, que pode resultar em inchamentos, empenos e retracções.

#### **2.5.4.4 Degradação do revestimento**

Os revestimentos são utilizados como uma forma de melhoria estética, mas também como minimizador do processo de degradação do material sobre o qual é aplicado. Os tipos de revestimentos mais comuns nas caixilharias são: na madeira, a tinta, o verniz ou a velatura; no alumínio, a anodização, ou a lacagem; no ferro / aço, a tinta, a anodização, ou a lacagem; e no PVC, a lacagem, ou uma película aderente.

A degradação do revestimento usualmente manifesta-se na descamação ou empolamento pontual da película de tinta (ou verniz), e não sendo reparada provoca a perda de espessura do revestimento e no estado limite o seu desaparecimento. Segundo Eusébio e Rodrigues (2009), esta anomalia pode ser consequência da selecção inadequada do produto para o revestimento ou da preparação da superfície. Outras causas prováveis são: a radiação solar (degradação química pela radiação UV); presença de água; poluição atmosférica; lavagens com produtos de limpeza inadequados; e a colisão de objectos.

Independentemente da causa a falta de revestimento implica a exposição directa do material aos agentes de degradação, na generalidade os materiais do caixilho são mais vulnerável do que o revestimento, sofrendo assim uma degradação acelerada e comprometendo a sua durabilidade e o aspecto estético.

#### **2.5.5 Degradação da madeira**

Os principais constituintes químicos da madeira são: celulose, lenhina e hemicelulose. Tratando-se de um material putrescível, está fortemente sujeita a deterioração que conduz à desintegração estrutural. Existem diversos agentes cuja acção resulta na degradação da madeira, são de destacar os agentes atmosféricos (humidade, radiação ultravioleta) e os agentes biológicos (fungos de podridão e bolores, carunchos e térmitas) (Sousa *et al.*, 2003).

##### **i) Agentes atmosféricos**

- Humidade - a penetração da humidade de precipitação na madeira ocorre, sobretudo, através de áreas danificadas, não protegidas (revestimento deteriorado) ou ainda devido à higroscopicidade do próprio material. Sendo ainda frequente a penetração da humidade através de superfícies sem protecção em contacto com a alvenaria (Richardson, 1995). A acção da chuva e a presença de humidade na madeira da caixilharia provoca: variações dimensionais, resultando em deficiências na operação da caixilharia e na sua estanquidade; descoloração; e erosão (DOI, 1983). É ainda de referir que a humidade é um dos principais catalisadores dos agentes biológicos responsáveis pela degradação da madeira.
- Radiação ultravioleta - a radiação ultravioleta é responsável por alterações físicas e químicas da madeira, principalmente à superfície. São de destacar as descolorações da madeira, e no caso da radiação aliada à presença de água, a destruição da lenhina, que é posteriormente



erodida pela água da chuva. Este processo leva a uma mudança progressiva da tonalidade da madeira, tornando-se cinzenta em ambientes húmidos (Stahl, 1984 e Sousa *et al.*, 2003).

## ii) Agentes biológicos

- Fungos de podridão e bolores - a humedificação da madeira permite o desenvolvimento de uma grande variedade de bolores e fungos. Os bolores desenvolvem-se à superfície da madeira, mesmo no caso de se encontrar revestida, e afectam sobretudo o aspecto estético, causando manchas verdes, cinzentas ou pretas. Os fungos de podridão atacam a madeira, mesmo as mais resistentes, podendo provocar o seu colapso. Para um estado de humedificação intermédio e a presença de oxigénio, encontram-se reunidas as condições necessárias para o desenvolvimento de fungos de podridão, sendo de destacar a podridão branca, que resulta de fungos que se alimentam da lenhina e celulose, tornando a madeira branca e esponjosa; e a podridão castanha, que resulta de fungos que se alimentam da celulose, tornando a madeira castanha quebradiça (Morris, 1998 e Sousa *et al.*, 2003).
- Insectos xilófagos - os insectos xilófagos ao atacarem a madeira pela abertura de galerias, provocam perda de resistência do elemento. Para as condições de ambiente e de funcionamento usuais para as caixilharias, os xilófagos a ter em atenção são o caruncho e as térmitas. Em Portugal o insecto xilófago mais comum e que mais estragos causa é o caruncho (Sousa *et al.*, 2003).

### 2.5.6 Degradação dos metais

O principal mecanismo de degradação dos metais é a corrosão, a sua ocorrência e intensidade nos elementos metálicos depende de diversos factores, sendo de destacar o material constituinte, as condições de funcionamento (humidade atmosférica, chuva) e a agressividade do meio a que este se encontra exposto (zona industrial, marítima) (Fontinha, 2002). A corrosão é inicialmente manifestada através de anomalias superficiais como a alteração da cor, manchas, escorrimentos, empolamentos e destacamentos. Porém a corrosão pode provocar anomalias mais severas e profundas, como picadas / perfurações, fissuras / fracturas, e a diminuição da espessura do elemento. Dos metais mais usualmente utilizados no fabrico de caixilharias (alumínio, ferro fundido e aço) é de destacar o alumínio como sendo o mais resistente à corrosão (Fontinha e Salta, 2004).

### 2.5.7 Degradação do plástico

O crescimento da utilização de plásticos tem como principal causa a sua difícil degradação natural, ou seja, a sua alta estabilidade e durabilidade aos diversos agentes ambientais (Zheng *et al.*, 2008). No caso das caixilharias o polímero plástico utilizado é o PVC. O plástico exposto aos agentes ambientais, apresenta quatro mecanismos de degradação: foto degradação, degradação termo oxidante, degradação por hidrólise e a degradação biológica (microorganismos) (Andrady, 2011). Na generalidade dos casos a deterioração do plástico inicia-se com a foto degradação, que conduz à degradação termo oxidante, a radiação ultravioleta fornece a energia necessária para o início do processo de incorporação de átomos de oxigénio no polímero. Este processo torna o material frágil e quebradiço, desenvolvendo-se até ao ponto em que as cadeias do polímero se tornam suficientemente fracas para serem metabolizadas por microorganismos (Andrady, 2011 e Raquez *et al.*, 2011). A degradação do plástico manifesta-se através

de anomalias superficiais como o amarelecimento, aparecimento de riscos, corrosão localizada, e erosão. A evolução dos mecanismos de degradação pode levar à alteração das características mecânicas como a diminuição da resistência à flexão, tracção e impacto (Real, 2001).

## **2.6 Conclusão**

Com a elaboração deste capítulo, é possível verificar a ampla variedade de elementos, materiais, e tipologias de caixilharias. Estes surgem como forma de resposta à evolução do rigor exigido pelas legislações e normas, quanto à durabilidade e desempenho energético dos elementos utilizados na construção.

Em relação à legislação nacional aplicável às caixilharias, é de referir que esta se encontra dispersa e pouco concreta quanto às exigências a cumprir, por esta razão são usualmente utilizados documentos auxiliares, e não normativos, como forma de apoio aos diversos intervenientes na construção. Exemplos destes tipos de documento são os ITE (Informação Técnica de Edifícios) publicadas pelo LNEC, ou ainda, no caso de se procurar um maior nível de rigor e desempenho, podem ser utilizados sistemas classificativos como o *Nordic Swan*, que é implementado nos países nórdicos e dispões de valores concretos, para os diversos factores de desempenho da caixilharia.

Com a elaboração do capítulo da classificação das anomalias em caixilharias, foi possível verificar a importância do bom funcionamento dos diversos componentes no desempenho da caixilharia. É de destacar as ferragens e os vedantes como componentes essenciais à garantia de operacionalidade e estanquidade do sistema. Os vedantes são usualmente o primeiro dos componentes a apresentar falência das suas características, expondo os restantes elementos da caixilharia aos agentes de degradação, acelerando o processo de degradação da caixilharia. É ainda de mencionar a importância dos hábitos do utilizador na durabilidade da caixilharia, visto muitas das anomalias poderem ser prevenidas ou o seu desenvolvimento retardado, através da limpeza e manutenção periódica.

## **3. Trabalho de campo**

### **3.1 Introdução**

O trabalho de campo constitui uma fase crucial na elaboração de um modelo de previsão da vida útil. A amostra recolhida e a forma como é obtida tem impacto na qualidade do modelo.

No presente capítulo, é apresentada a metodologia aplicada no trabalho de campo, sendo descritas as várias etapas da sua implementação. Posteriormente, são definidos os níveis de degradação para os diferentes componentes da caixilharia e analisada a amostra recolhida.

A amostra é analisada através do levantamento de anomalias em caixilharias e é proposta uma ficha de inspecção, de forma a uniformizar os critérios de inspecção e de recolha. As inspecções realizam-se sem o requisito de equipamento especializado e a utilização de técnicas morosas, permitindo a sua execução por técnicos não especializados no domínio da construção. Por este motivo, foram adoptadas diversas estratégias de forma a simplificar a metodologia de inspecção, que serão apresentadas no decorrer deste capítulo. Na presente dissertação, as inspecções são realizadas a caixilharias cujo acesso é possível pelo interior da habitação, permitindo a recolha directa de informação essencial à caracterização das anomalias presentes, sendo no subcapítulo 3.2 descrito os diversos factores que levaram a esta decisão.

#### **3.1.1 Objectivos do trabalho de campo**

O objectivo do trabalho de campo é a inspecção visual a caixilharias de madeira, ferro / aço, alumínio e PVC, com o intuito de fazer o levantamento das anomalias presentes, para posteriormente ser desenvolvido um modelo de previsão de vida útil do elemento. O levantamento de anomalias permite a definição das curvas de degradação, que avaliam a perda de desempenho da caixilharia ao longo do tempo, através da comparação do estado de degradação das diversas caixilharias analisadas. Assim, interessa fazer uma inspecção visual que envolva a recolha de informação relativa às anomalias relacionadas com os mecanismos de degradação da caixilharia, que decorrem da exposição prolongada do elemento às condições de serviço. Desta forma, ficam excluídas anomalias resultantes de fenómenos pontuais e imprevisíveis, não modeláveis, como o vandalismo. Para alcançar uma melhor calibração do modelo, importa não só analisar o maior número de casos possível, como obter uma amostra com uma extensa gama de idades.

A recolha de informação sobre a evolução da degradação da caixilharia apresenta um desafio particular quando comparado com outros elementos da fachada. Na grande generalidade das habitações em condomínio, os elementos exteriores do edifício, como o revestimento das fachadas, têm como responsáveis pelas acções de reparação e manutenção os proprietários, que tomam decisões em conjunto nas reuniões de condomínio, ou uma empresa particular à qual o condomínio atribui tal autoridade e responsabilidade. No caso das caixilharias, o responsável pelas acções de reparação, manutenção ou substituição é o proprietário particular. Assim, ao contrário dos revestimentos exteriores que usualmente são alvo de poucas ou nenhuma acção até à sua reparação ou substituição numa fase de degradação perto ou após a vida útil do elemento, as acções sobre as caixilharias estão directamente relacionadas com os hábitos e nível de exigência do utilizador, sendo-lhes atribuídas um carácter mais esporádico.

Atendendo à consideração anterior, todos os utilizadores serão contactados de forma a recolher informações sobre a manutenção e intervenções nas caixilharias, como a sua regularidade e os produtos

utilizados. Devido à procura por parte dos utilizadores de melhores condições de conforto e economia energética, é usual a substituição das caixilharias por outras com melhor eficiência energética, ainda que esta não apresente falência significativa do seu desempenho. Assim, é expectável encontrar dificuldades na recolha de amostras de caixilharias em ferro / aço, por se tratar de um material em desuso, e ainda de caixilharias em PVC com degradação visível, visto a sua aplicação em habitações ser recente em Portugal.

É ainda de salientar as seguintes limitações, no decorrer do trabalho de campo: a dificuldade de obtenção de informação sobre possíveis erros de execução, não detectáveis na recolha de dados de campo, como a incorrecta montagem dos elementos; e a subjectividade inerente ao inspector, que depende consideravelmente da sua experiência e formação.

### **3.1.2 Amostra analisada**

De forma a melhorar a representatividade e heterogeneidade da amostra, foram inspeccionadas caixilharias de diferentes idades, diferentes materiais e expostas a diferentes factores de degradação. O trabalho de campo foi desenvolvido no contexto do parque edificado dos distritos de Beja, Coimbra, Santarém, Setúbal e Lisboa. Foi analisado um total de 35 edifícios equivalente a 189 caixilharias, 112 correspondentes a alumínio, 45 a madeira e 25 a PVC. Os proprietários das habitações foram contactados de forma a obter as diversas informações sobre o edifício e caixilharias correspondentes, entre elas o ano de construção do edifício, as datas e tipos de intervenções sobre as caixilharias, e ainda os hábitos de operação e manutenção das mesmas. No subcapítulo 3.4, a amostra recolhida é analisada em detalhe.

### **3.2 Metodologia aplicada**

Os dados a registar durante o trabalho de campo deverão permitir modelar a degradação das caixilharias, com o objectivo de prever a sua vida útil (Capítulo 4). Assim, torna-se necessário identificar os factores que condicionam a durabilidade das caixilharias. Segundo a norma ISO 15686-1 (2011), os factores a ter em conta na degradação de um componente da construção são: as propriedades dos materiais utilizados; os factores de projecto e execução; as condições ambientes (exterior e interior); e as condições de uso e manutenção. No trabalho de Re Cecconi *et al.* (2017), no qual é desenvolvido um método factorial para a previsão da vida útil de caixilharias em alumínio, são tidos em conta os factores referidos, resultando nas seguintes reflexões:

- manutenção: a qualidade e frequência das acções de manutenção desempenha um papel primordial no tempo de vida útil, ou seja, alguns dos componentes / materiais necessitam de maior número de acções de manutenção do que outros (e.g. vedantes);
- renovações: as caixilharias e/ou componentes são frequentemente renovadas ou actualizadas durante a vida do edifício;
- meio envolvente: diferentes materiais / componentes apresentam diferente sensibilidade às condições do meio envolvente (temperatura, humidade, radiação UV, poluição, entre outros);
- acessórios: a vida útil é frequentemente reduzida devido à baixa qualidade de peças e acessórios;
- condições de uso: alguns dos componentes da caixilharia contêm partes operáveis, o tempo de vida útil destes componentes depende dos seguintes factores: a) operação (correcta ou incorrecta); b) frequência de uso (baixa ou alta); c) tipo de uso (habitação, escritório, comércio, público).

Através dos factores apresentados, foram adoptadas as seguintes considerações. De forma a ter em conta as acções de reparação ou substituição, que alteram a idade a admitir para o elemento, deve ser efectuado o registo das intervenções sobre a caixilharia junto dos utilizadores, sendo recolhidos dados sobre quais os elementos intervencionados e data de realização das mesmas. Devem também ser registadas informações sobre os hábitos de manutenção (limpeza) e operação da caixilharia por parte dos utilizadores, visto estes desempenharem um papel importante no tempo de vida útil. Deve ainda ser tida em conta a zona onde o edifício se insere, devido à influência do meio envolvente nos processos de degradação. É indispensável a obtenção deste tipo de informações e o seu registo na ficha de inspecção, para posterior avaliação do seu impacte na degradação dos elementos da caixilharia.

As inspecções foram realizadas da forma mais metódica e rigorosa possível, e sem que o processo se tornasse demasiadamente moroso. Todas as informações relativas ao edifício, ao seu enquadramento e suas caixilharias foram alvo de registo escrito (ficha de inspecção) e, no caso das anomalias observadas, também de registo fotográfico.

De forma a simplificar a análise dos dados recolhidos, além do registo fotográfico da caixilharia, foram efectuados mapeamentos da sua posição sobre um esquisso da planta do edifício, com numeração associativa, tornando assim clara a sua posição e a correlação com a ficha de inspecção correspondente.

### **3.2.1 Levantamento das anomalias**

O levantamento de anomalias no decorrer do trabalho de campo foi efectuado através de inspecções visuais, em contacto directo com as caixilharias, pelo interior das habitações. Isto deve-se ao facto de, mesmo recorrendo a fotografias de pormenor, existir dificuldade em avaliar correctamente as anomalias presentes nas caixilharias, devido à dimensão reduzida dos seus componentes (vedantes e ferragens) e anomalias associadas. As inspecções a caixilharias em alturas elevadas apresentam ainda outra dificuldade, pois o ângulo de visão a partir do terreno é limitado pelo parapeito das janelas, tornando impossível a visualização do aro inferior da caixilharia e vedantes correspondentes (Figura 3.1). No caso das ferragens, é impossível a sua inspecção pelo exterior, visto estas encontrarem-se instalados pela face da caixilharia orientada para o interior da habitação.

Além da ficha de inspecção, foram utilizados outros meios complementares durante as inspecções visuais, de forma a caracterizar as caixilharias inspeccionadas. Os meios utilizados foram: a fita métrica, que permitiu determinar as dimensões do vão, da caixilharia e dos diversos componentes; a bússola, que permitiu definir a orientação da caixilharia; e a calculadora simples, para auxiliar no cálculo das dimensões totais dos diversos elementos.

De forma a simplificar o processo de quantificação das dimensões dos diversos elementos da caixilharia, sem que para tal fosse comprometido o rigor e representatividade do mesmo, foram adoptados os seguintes critérios:

- a avaliação das dimensões dos diversos elementos, com excepção das ferragens e anomalias associadas, é realizada apenas na face orientada para o exterior do edifício, visto ser esta a que se encontra exposta aos diversos agentes do meio envolvente;
- o caixilho e os vedantes são quantificados em centímetros; esta escolha é vantajosa devido a uma das dimensões destes elementos ser substancialmente superior, e ainda o facto de o cálculo das

dimensões em área necessitar de algum rigor, tornando o processo demasiado moroso;

- as ferragens são quantificadas unitariamente, i.e. as anomalias são contabilizadas mecanismo a mecanismo, sendo no subcapítulo 3.3 detalhada a avaliação da degradação destes componentes.



**Figura 3.1 - Dificuldade de visualização da totalidade da caixilharia quando inspeccionada pelo exterior em altura**

### 3.2.2 Ficha de inspeção

A ficha de inspeção destina-se ao registo dos dados recolhidos em campo, deve ser de preenchimento expedito e conter todos os elementos necessários à correcta caracterização do edifício, da sua envolvente, e das caixilharias e anomalias nelas existentes.

A ficha de inspeção (presente no Anexo A), para a caracterização das caixilharias, foi inicialmente elaborada por Santos (2012) e Vicente (2012), com base nos trabalhos desenvolvidos por Silvestre (2005), Garcez (2009), Lopes (2009), Sá (2011), entre outros.

A primeira parte da ficha de inspeção destina-se à identificação e recolha das informações gerais do edifício, de dados sobre a envolvente (zona térmica, zona de vento, rugosidade aerodinâmica, proximidade do mar, entre outras), as condições climáticas nas quais a inspeção foi realizada, e ainda outros possíveis factores de degradação das caixilharias que se considerem importantes durante a inspeção. Esta parte da ficha de inspeção é de preenchimento único, visto conter informações que são comuns às diversas caixilharias a inspeccionar num mesmo edifício.

A segunda parte da ficha de inspeção diz respeito à caracterização da caixilharia vistoriada, sendo ainda registadas as intervenções de que foi alvo, os hábitos de operação e de manutenção dos utilizadores. Os campos a serem preenchidos nesta parte são: identificação da caixilharia, ano de instalação, função (porta, janela), orientação da fachada, exposição do vão à acção do vento, condições de sombreamento, posição do vão na fachada (central, periférica), cota do vão acima do terreno, dimensões do vão, material da caixilharia, tipo de revestimento da caixilharia, forma de abertura (tipologia), tipo de preenchimento (vidro simples, vidro duplo, grade, lâmina opaca, outro), existência de fontes de vapor de água na divisão (ex.: cozinha, casa de banho), existência de marcação CE da caixilharia, e notas relevantes. Relativamente à manutenção das caixilharias, é identificada a tipologia implementada, a periodicidade das acções de manutenção, e produtos utilizados; no que diz respeito às intervenções na caixilharia, é indicada a data, a técnica utilizada, e os materiais aplicados. Por fim, para os hábitos do utilizador, identifica-se o número de horas diárias em que a caixilharia se encontra protegida pelos dispositivos de sombreamento e a frequência de uso (operação) da caixilharia.

A terceira parte da ficha de inspecção destina-se à caracterização das anomalias existentes nos diferentes tipos de caixilharia. Estas encontram-se divididas em três grupos, consoante o componente afectado: i) os vedantes (sigla D-V); ii) o revestimento e material do caixilho (sigla D-C); e iii) as ferragens (sigla D-F). A informação a recolher nesta parte da ficha deve permitir a definição do nível de degradação global da caixilharia, assim como que diferentes inspectores descrevam de forma semelhante o mesmo fenómeno. Os critérios adoptados na distinção das diversas anomalias são apresentados no subcapítulo 3.3.

Além da identificação das anomalias, devem ainda ser recolhidos os seguintes dados: as dimensões totais dos vedantes e caixilho; a contagem dos mecanismos existentes; e a extensão de cada anomalia (percentagem de componente afectado). Caso exista um claro défice de estanqueidade ao ar, à água, ou ainda dificuldade na operação da caixilharia, devem ser preenchidos os campos correspondentes no estado de deterioração da caixilharia. Por fim, são registadas notas e observações que se considere necessárias à correcta definição do estado de degradação da caixilharia ou de interesse para dados estatísticos (e.g. anomalias no vidro). Previamente à recolha das informações mencionadas, é feita uma avaliação visual da degradação da caixilharia a inspecionar. Esta informação representa apenas uma análise qualitativa, sendo posteriormente confrontada com os resultados obtidos pelo modelo de previsão de vida útil.

### **3.3 Classificação e definição dos níveis de degradação**

Devido ao facto de diferentes anomalias produzirem diferentes efeitos de deterioração na caixilharia, e por consequência na sua durabilidade, é fundamental a organização das anomalias segundo uma escala que tenha em conta a sua gravidade. A escala a utilizar, e respectivos níveis de degradação, devem ser de fácil percepção e interpretação, sendo por isso apresentados padrões visuais de referências associados às diversas anomalias. O objectivo deste subcapítulo é classificar e definir níveis de degradação para as anomalias que afectam a durabilidade da caixilharia.

#### **3.3.1 Classificação das anomalias**

Com o intuito de organizar as anomalias apresentadas no Capítulo 2, estas são divididas em grupos distintos, facilitando a recolha e posterior análise dos dados recolhidos. A sistematização das anomalias da caixilharia é feita segundo os principais elementos, resultando nos seguintes três grupos: anomalias dos vedantes; anomalias do caixilho; e anomalias das ferragens.

As anomalias que serão objecto de estudo para a avaliação do estado de deterioração das caixilharias terão por base as três seguintes condições: i) afectam directamente a funcionalidade da caixilharia, em termos de estanqueidade e operacionalidade, ou contribuem para o desenvolvimento de tais anomalias; ii) podem ser monitorizados sem recurso a equipamentos de medição especializados; iii) não são incluídas anomalias cujas causas para o seu aparecimento são usualmente atribuídas a fenómenos não modeláveis ao longo do tempo (e.g. vandalismo, e a incorrecta concepção e/ou montagem do sistema). A selecção de anomalias tem ainda por base a análise elaborada por Santos (2012) na correlação “inter-anomalias” e a frequência de ocorrência de anomalias em função do tipo de caixilho, sendo dada especial atenção às anomalias que se enquadram nas condições anteriores, sendo por isso excluídas as anomalias do vidro, e com maior taxa de ocorrência. É ainda reorganizada a classificação efectuada por Santos (2012), de forma a ser possível estabelecer importâncias relativas entre as anomalias identificadas, como por exemplo entre a acumulação de sujidade e a colonização biológica, e a definição de anomalias específicas para os diferentes materiais.

Nas anomalias dos vedantes, incluem-se a acumulação de sujidade, alteração da cor / degradação superficial, colonização biológica, despreendimento / descontinuidade, e ausência de vedantes. Nas anomalias do caixilho, estão associadas a acumulação de sujidade, a alteração da cor do revestimento, fissuração / ponteados do revestimento, colonização biológica, corrosão do material do caixilho (ferro / aço e alumínio), envelhecimento do material do caixilho (madeira e PVC), ataque de xilófagos e fungos (madeira), destacamento do revestimento, deformação da caixilharia, e folgas e/ou frestas. Por fim, nas anomalias relacionadas com as ferragens, considera-se a acumulação de sujidade, a corrosão / degradação do mecanismo e a sua ausência / danificação. As anomalias relacionadas com o vidro, condensações na sua superfície ou fracturas, apesar de serem registadas nas fichas de inspecção, não são objecto de estudo visto terem como causas mais prováveis fenómenos pontuais, difíceis ou mesmo impossíveis de prever.

### 3.3.2 Definição dos níveis de degradação das anomalias

Como referido, é objectivo deste subcapítulo a definição de níveis de degradação para as diferentes anomalias da caixilharia. É assim apresentada a hierarquia dos níveis de degradação para cada um dos três grupos de anomalias. O critério considerado é a severidade da anomalia, associada à extensão da mesma, sendo ambas incrementalmente reflectidas ao longo da escala.

Do trabalho desenvolvido por Shohet (2003), no qual é apresentada uma metodologia para a definição das prioridades de manutenção dos componentes da construção, com base na degradação esperada dos mesmos, resulta uma escala com cinco níveis de degradação para as caixilhariças (Tabela 3.1). Esta é a base para a definição dos níveis de degradação dos grupos de anomalias, sendo adicionada a percentagem de área do elemento afectado pela anomalia e a representação visual correspondente a cada anomalia. A classificação é feita segundo cinco níveis de degradação, onde o nível 0 não apresenta degradação visível e o nível 4 corresponde a uma degradação severa do elemento, no qual os níveis de desempenho mínimos de estanqueidade e operacionalidade se encontram comprometidos.

**Tabela 3.1 - Descrição dos níveis de degradação em caixilhariças (adaptado de Shohet (2003))**

100 Muito bom	80 Bom	60 Satisfatório	40 Condição precária	20 Perigosa
Caixilho intacto, praticamente sem imperfeições, não apresenta penetração de água através de aberturas	Início de desgaste de algumas partes do caixilho (e.g. fissuração do revestimento, peças metálicas danificadas ou em falta)	Início de desgaste generalizado (e.g. descasque da pintura ou ocorrência de danos mecânicos que podem ser reparados numa manutenção geral)	Desgaste considerável de peças de madeira (e.g. fendilhação, putrefacção). Penetração de humidade através de aberturas. Deterioração física. Muitas das partes necessitam de substituição	A maioria das aberturas não pode ser reparada. Penetração de humidade para o interior do edifício. Caixilho apresenta danos mecânicos. Folgas entre o vão e o aro fixo da caixilharia

Devido a algumas anomalias, como as folgas, poderem apresentar percentagens de componente afectado reduzidas, mas que podem implicar fortes deficiências na funcionalidade da caixilharia, como a perda de estanqueidade, são apresentadas na Tabela 3.2 as alterações ao nível de degradação da anomalia, a aplicar caso o nível de degradação não reflecta tal gravidade.

**Tabela 3.2 - Ajuste a aplicar ao nível de degradação da anomalia, caso esteja na origem da insuficiência de estanqueidade ou operacionalidade**

Descrição	Défice de desempenho observado				Operacionalidade
	Estanqueidade ao ar		Estanqueidade à água		
	Entrada pontual de um elevado caudal de ar	Entrada abundante de um elevado caudal de ar	Entrada pontual de um elevado caudal de água	Entrada abundante de um elevado caudal de água	
Nível de degradação mínimo a considerar	Nível 2	Nível 3	Nível 3	Nível 4	Caixilharia inoperável Nível 4

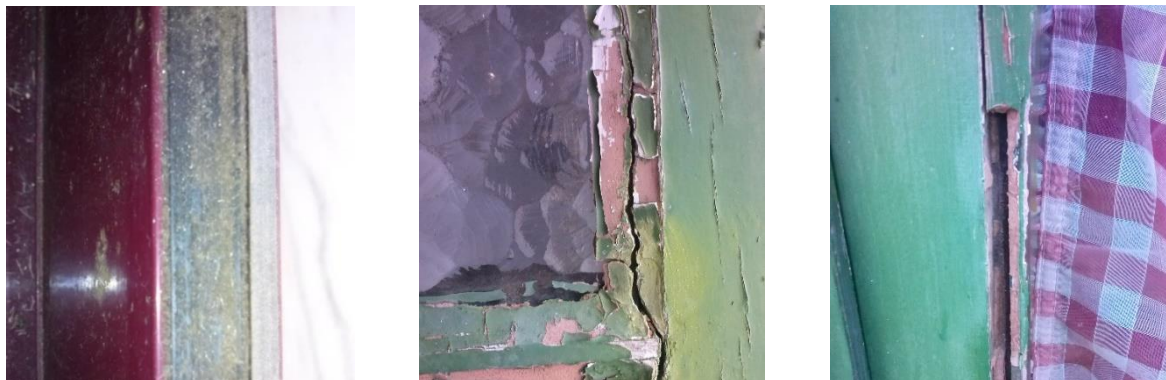


### 3.3.2.1 Anomalias dos vedantes

As anomalias que afectam os vedantes e cumprem as condições referidas no capítulo 3.3.1 são: a acumulação de sujidade; a alteração de cor / degradação superficial do vedante (ferro / aço, alumínio e PVC); deterioração do revestimento da massa de vidraceiro (madeira), que inclui todas as anomalias que ocorrem ao nível do revestimento; colonização biológica; despreendimento/descontinuidade; e ausência dos vedantes. Nas Figuras 3.2 e 3.3, são apresentados exemplos das anomalias referidas, facilitando a sua identificação. A organização destas anomalias segundo uma hierarquia de gravidade (níveis de degradação) é apresentada na Tabela 3.3, sendo seguidamente apresentadas algumas considerações relativamente à sua definição.



**Figura 3.2 - Alteração da cor / degradação superficial do vedante (à esquerda), deterioração do revestimento da massa de vidraceiro (ao centro) e colonização biológica do vedante (à direita)**



**Figura 3.3 - Acumulação de sujidade (à esquerda), descontinuidade do vedante (ao centro) e ausência de massa de vidraceiro (à direita)**

Na caixilharia de madeira, é corrente o uso da massa de vidraceiro, por oposição à borracha sintética EPDM, a qual é frequentemente utilizada nas restantes caixilharias. A massa de vidraceiro apresenta revestimento, usualmente o mesmo do que o caixilho, sendo por isso necessário fazer a diferenciação entre a degradação superficial deste revestimento e a degradação superficial da borracha de EPDM. Assim, é feita a distinção entre a alteração de cor / degradação superficial do vedante (ferro / aço, alumínio e PVC) e a deterioração do revestimento da massa de vidraceiro (madeira). Estas anomalias, em conjunto com a acumulação de sujidade e a colonização biológica, correspondem a anomalias superficiais, que por si só não colocam em risco a estanqueidade da caixilharia, sendo por isso inicialmente apresentadas nos níveis 1 e 2 de degradação. O despreendimento / descontinuidade e ausência

dos vedantes constituem anomalias graves, visto representarem uma deterioração elevada do elemento, correspondendo aos níveis 3 e 4 de degradação. A ocorrência destas anomalias coloca em risco a estanqueidade do sistema, e ainda a durabilidade dos restantes componentes, devido ao contacto desprotegido destes com os agentes ambientais de degradação.

**Tabela 3.3 - Definição dos níveis de degradação para anomalias dos vedantes**

Vedantes		
Nível de degradação	Caracterização	% afectada
Nível 0 (muito bom)	Sem degradação detectável visivelmente	-
Nível 1 (bom)	Acumulação de sujidade	> 20%
	Alteração da cor / deterioração superficial do vedante [F/A] [A] [PVC]	≤ 10%
Nível 2 (degradação ligeira)	Alteração da cor / deterioração superficial do vedante [F/A] [A] [PVC]	> 10% e ≤ 50%
	Deterioração do revestimento da massa de vidraceiro [M]	> 10% e ≤ 20%
	Colonização biológica	≤ 15%
Nível 3 (degradação moderada)	Alteração da cor / deterioração superficial do vedante [F/A] [A] [PVC]	> 50%
	Deterioração do revestimento da massa de vidraceiro [M]	> 20% e ≤ 40%
	Colonização biológica	> 15% e ≤ 30%
	Desprendimento / descontinuidade dos cordões de estanqueidade *	> 10% e ≤ 30%
Nível 4 (degradação severa)	Deterioração do revestimento da massa de vidraceiro [M]	> 40%
	Colonização biológica	> 30%
	Desprendimento / descontinuidade dos cordões de estanqueidade	> 30%
	Ausência dos cordões de estanqueidade	> 10%

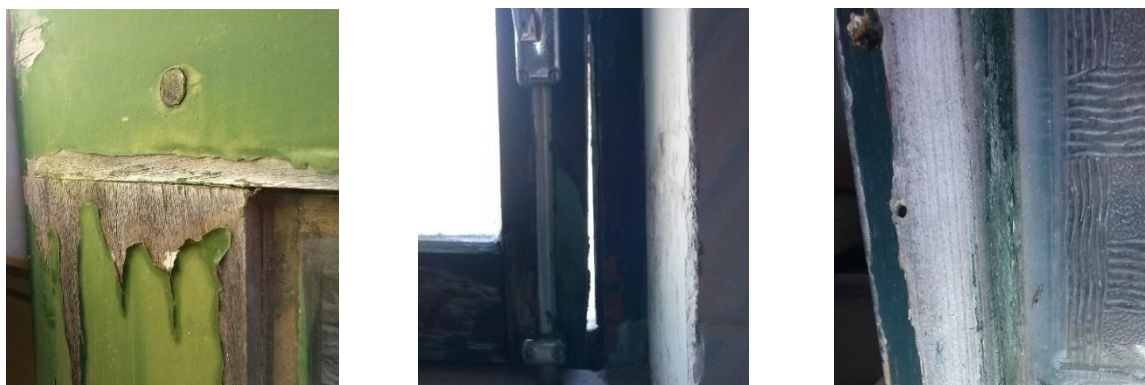
[A] - Aplicável a caixilharias de alumínio; [F/A] - Aplicável a caixilharias de ferro/aço; [M] - Aplicável a caixilharias de madeira; [PVC] - Aplicável a caixilharias de PVC (cloreto de polivinilo)

\*Se a anomalia estiver na origem da insuficiência de estanqueidade ou operacionalidade da caixilharia, deve ser consultada a Tabela 3.2 do presente capítulo

### 3.3.2.2 Anomalias do material e revestimento do caixilho

No grupo relativo às anomalias do material e revestimento do caixilho, são consideradas as seguintes anomalias: acumulação de sujidade; a alteração da cor do revestimento; fissuração / ponteados do revestimento; colonização biológica; corrosão do material do caixilho (ferro / aço e alumínio); envelhecimento do material do caixilho (madeira e PVC); ataque de xilófagos e fungos (madeira); destacamento do revestimento; deformação da caixilharia; e folgas e/ou frestas. Nas Figuras 3.4 e 3.5, são apresentados exemplos para algumas das anomalias referidas, facilitando a sua identificação.

Na Tabela 3.4, é apresentada a organização dos níveis de degradação para o material e revestimento da caixilharia. Os níveis 1 e 2 de degradação são compostos por anomalias superficiais, que afectam sobretudo o revestimento, ou seja, a acumulação de sujidade, a alteração da cor e a fissuração / ponteados.



**Figura 3.4 - Destacamento do revestimento (à esquerda), folga entre a folha móvel e aro fixo (ao centro) e envelhecimento da madeira (à direita)**



**Figura 3.5 - Fissuração do revestimento (à esquerda), alteração da cor do revestimento (ao centro) e acumulação de sujidade no aro fixo inferior (à direita)**

**Tabela 3.4 - Definição dos níveis de degradação para material e revestimento do caixilho**

Material e revestimento do caixilho		
Nível de degradação	Caracterização	% afectada
Nível 0 (muito bom)	Sem degradação detectável visivelmente	-
Nível 1 (bom)	Acumulação de sujidade	> 20%
	Alteração da cor do revestimento	≤ 10%
	Fissuração / ponteado do revestimento	≤ 10%
	Destacamento / revestimento em falta	≤ 10%
Nível 2 (degradação ligeira)	Alteração da cor do revestimento	> 10% e ≤ 50%
	Fissuração / ponteado do revestimento	> 10% e ≤ 50%
	Destacamento / revestimento em falta	> 10% e ≤ 50%
	Colonização biológica	≤ 15%
Nível 3 (degradação moderada)	Alteração da cor do revestimento	> 50%
	Fissuração / ponteado do revestimento	> 50%
	Colonização biológica	> 15% e ≤ 30%
	Destacamento / revestimento em falta	> 50%
	Corrosão do material do caixilho [F/A] [A] *	> 10% e ≤ 20%
	Ataque de xilófagos [M] *	≤ 10%
	Ataque de fungos de podridão / bolores [M] *	≤ 10%
	Envelhecimento do material do caixilho [M] [PVC]	> 10% e ≤ 20%
	Deformação do caixilho *	> 10% e ≤ 30%
Folgas e/ou frestas *	> 10% e ≤ 30%	
Nível 4 (degradação severa)	Colonização biológica	> 30%
	Corrosão do material do caixilho [F/A]	> 20%
	Ataque de xilófagos [M]	> 10%
	Ataque de fungos de podridão / bolores [M]	> 10%
	Envelhecimento do material do caixilho [M] [PVC]	> 20%
	Deformação da caixilharia	> 30%
	Folgas e/ou frestas	> 30%

[A] - Aplicável a caixilharias de alumínio; [F/A] - Aplicável a caixilharias de ferro/aço; [M] - Aplicável a caixilharias de madeira; [PVC] - Aplicável a caixilharias de PVC (cloreto de polivinilo)

\*Se a anomalia estiver na origem da insuficiência de estanqueidade ou operacionalidade da caixilharia, consultar a Tabela 3.2 do presente capítulo

As anomalias que consistam na exposição do material da caixilharia ou ainda na sua deterioração, promovendo a perda de desempenho da caixilharia quer em termos de estanqueidade quer de operacionalidade, surgem nos níveis 3 e 4. A diferenciação entre estes dois níveis é feita pela percentagem de caixilho afectado, sendo obviamente atribuído ao nível 4 de degradação uma maior percentagem, reflectindo assim a maior degradação do caixilho. No caso das caixilharias cujo material não apresente revestimento, as anomalias respectivas ao revestimento não podem ser consideradas.

### 3.3.2.3 Anomalias das ferragens

Relativamente às anomalias que afectam as ferragens, são consideradas: a acumulação de sujidade; a corrosão / degradação dos mecanismos e mecanismos danificados ou em falta. Na organização hierárquica dos níveis de degradação, não é considerado o nível 2, pois com a excepção da acumulação de sujidade, as anomalias referidas colocam em causa a operacionalidade da caixilharia. A corrosão é uma anomalia que resulta em alterações na dimensão do componente, podendo provocar perdas de operacionalidade e, no caso da falta ou danificação do mecanismo, é evidente a perda de desempenho do sistema. Assim, ambas as anomalias ocupam os níveis 3 e 4 de degradação, representando uma degradação moderada ou severa, consoante o número de elementos afectados.

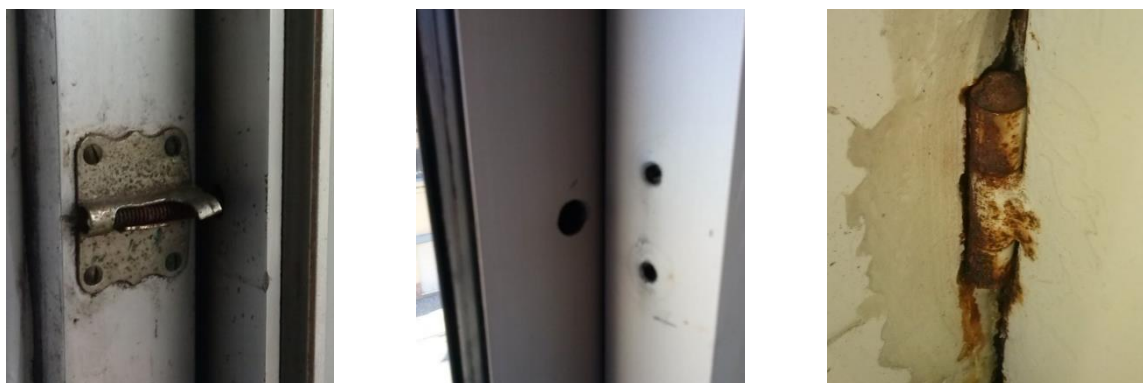
Caso existam rodízios que, integrados nos mecanismos de operação da caixilharia, sejam responsáveis por dificuldades de operação da mesma mas cuja avaliação directa não seja possível, é considerado que 50% destes se encontram degradados. Na Tabela 3.5, é apresentada a organização dos níveis de degradação para o material e revestimento da caixilharia.

**Tabela 3.5 - Definição dos níveis de degradação das ferragens**

Ferragens		
Nível de degradação	Caracterização	% afectada
Nível 0 (muito bom)	Sem degradação detectável visivelmente	-
Nível 1 (bom)	Acumulação de sujidade	> 20%
Nível 3 (degradação moderada)	Corrosão dos mecanismos *	> 20% e ≤ 40%
	Mecanismos em falta / danificados*	> 20% e ≤ 40%
Nível 4 (degradação severa)	Corrosão dos mecanismos	> 40%
	Mecanismos em falta / danificados	> 40%

\*Se a anomalia estiver na origem da insuficiência de estanqueidade ou operacionalidade da caixilharia, consultar a Tabela 3.2 do presente capítulo

Na Figura 3.6, é possível observar o estado gravoso de degradação de três mecanismos, estando nos casos do mecanismo danificado e do mecanismo em falta, a operação e segurança da caixilharia comprometida.



**Figura 3.6 - Mecanismo danificado (à esquerda), mecanismo em falta (ao centro) e corrosão do mecanismo (à direita)**

## 3.4 Caracterização da amostra recolhida

Após a obtenção de toda a informação referente às caixilharias e edifícios correspondentes, através da ficha de inspecção, é criada uma base de dados em Excel, de forma a caracterizar e analisar os dados recolhidos, sendo os resultados obtidos apresentados neste subcapítulo.

### 3.4.1 Casos excluídos

Foi inicialmente analisado um total de 189 caixilharias no trabalho de campo. Porém, foram excluídos 7



desses casos, devido a apresentarem um comportamento anómalo em termos de degradação natural.

Os primeiros 5 casos pertencem a um edifício no concelho de Sardoal, no distrito de Santarém. As caixilharias em causa, exemplificadas nas Figuras 3.7 e 3.8, apresentam uma degradação muito inferior à esperada, tendo em conta a sua gama de idades entre 32 e 34 anos e o facto de nunca terem sido alvo de intervenções. A inexistência de anomalias, com excepção da acumulação de sujidade, é anómala quando comparada com os modelos de degradação existentes. Esta discrepância é provavelmente resultado da baixa frequência de utilização do edifício, o que resulta na baixa exposição das caixilharias aos factores de degradação ambientais, devido à protecção conferida pelos estores.



**Figura 3.7 - Caixilharia de alumínio de 1985 que apresenta um estado de degradação anómalo**



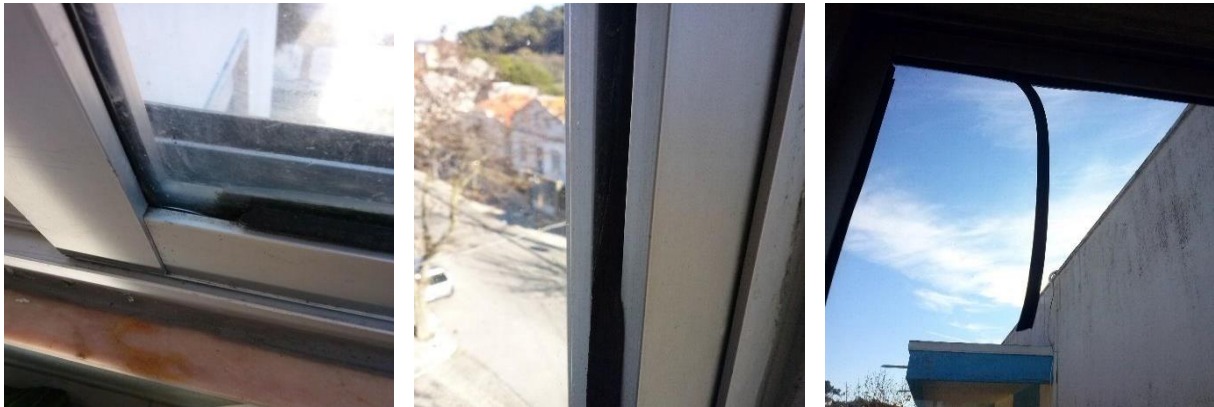
**Figura 3.8 - Caixilharias de alumínio de 1985 que apresentam um estado de degradação muito inferior ao esperado**

Os restantes dois casos pertencem a um edifício na Trafaria, concelho de Almada, as caixilharias têm 35 anos e alguns dos seus vedantes foram posteriormente substituídos. A escolha da geometria dos novos vedantes e a sua aplicação não foi a correcta, assim como a tentativa de reaproveitamento de alguns dos vedantes resultou em graves falhas de estanqueidade. Na Figura 3.9, é possível observar os pormenores dos vedantes nas caixilharias referidas.

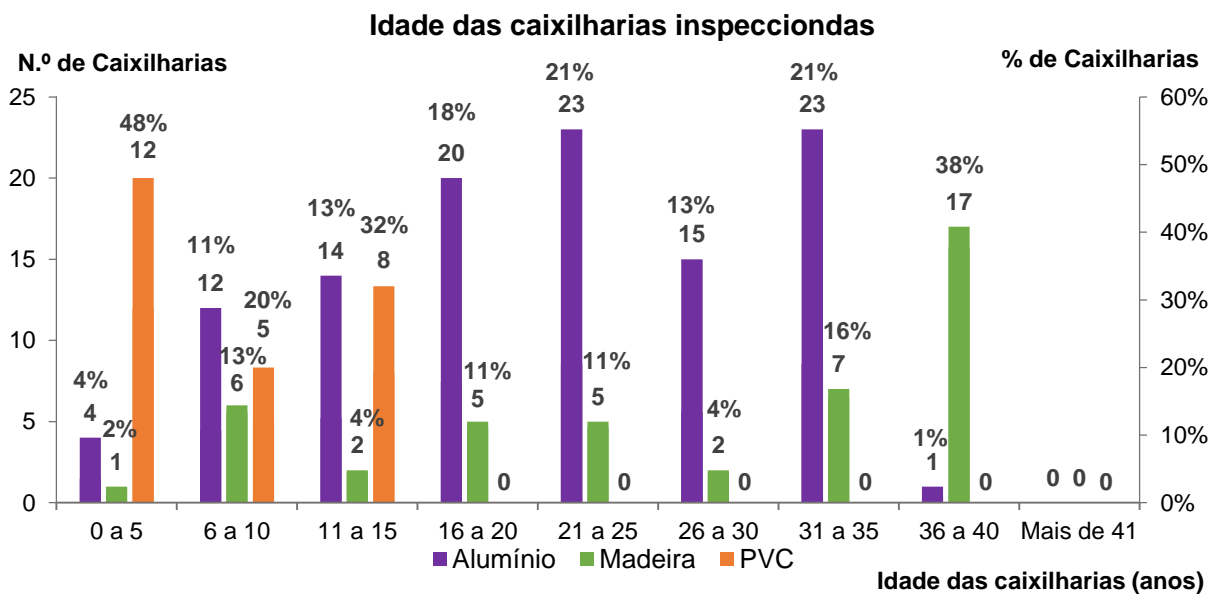
### **3.4.2 Caracterização das caixilharias estudadas**

Para a caracterização das caixilharias analisadas, é apresentada, para os diversos factores, a distribuição da amostra em valores absolutos e relativos. Na Figura 3.10, pode-se observar a distribuição da amostra segundo a idade da caixilharia e os diferentes tipos de materiais. A amostra de alumínio estende-se pelas gamas de idade entre 1 e 39 anos, encontrando-se homoganeamente distribuída. No

caso das amostras de madeira, a amostra encontra-se especialmente concentrada entre 31 e 40 anos (54%). Como referido no Capítulo 3.1.1, a utilização da madeira nas caixilharias encontra-se em desuso, sendo assim esperado que os casos identificados convirjam para gamas de idades superiores a 30 anos. Por fim, no caso da amostra de PVC, e uma vez que a utilização deste material em caixilharias é relativamente recente, a sua gama de idades converge entre 1 e 13 anos.



**Figura 3.9 - Geometria incorrecta do vedante vertical (à esquerda), incorrecta aplicação do vedante (ao centro) e tentativa de reaproveitamento do vedante (à direita)**



**Figura 3.10 - Distribuição da idade das caixilharias inspeccionadas pelos diferentes tipos de materiais**

Na Figura 3.11, apresenta-se a distribuição da amostra pelos diferentes tipos de materiais da caixilharia. A grande parte da amostra (62%) é representada por caixilharias de alumínio, seguido pela madeira (25%) e, por fim, o PVC (14%).

A posição da caixilharia no edifício e a forma como esta se encontra exposta aos agentes climáticos, pode ser classificada como protegida ou exposta. A forma de classificação da caixilharia como protegida ou exposta pode ser visualizada em detalhe no Anexo A.III. Uma caixilharia protegida ou abrigada terá na maioria dos casos uma exposição à radiação solar inferior que, como referido no Capítulo 2.5, é um dos principais factores de degradação dos componentes da caixilharia, sendo por isso importante a recolha e

análise desta informação. Na Figura 3.12, pode-se observar a distribuição da amostra segundo a exposição do vão, sendo a grande parte da amostra (77%) classificada como exposta.

Na Figura 3.13, apresenta-se a distribuição da amostra estudada segundo o tipo de utilização do edifício onde se encontra a caixilharia, sendo que a grande maioria dos casos (96%) se insere em edifícios de habitação. Na Figura 3.14, pode-se observar a distribuição das caixilharias estudadas segundo a existência ou não de dispositivos de sombreamento. A existência de estores ou portadas exteriores permite uma protecção acrescida da caixilharia quando utilizadas convenientemente, sendo 68% da amostra abrangida por dispositivos deste tipo.

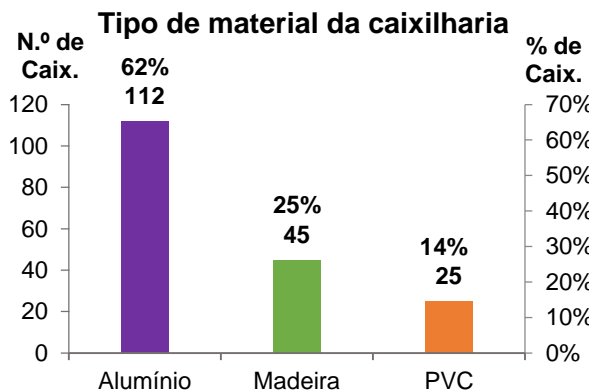


Figura 3.11 - Distribuição da amostra estudada segundo o tipo de material da caixilharia

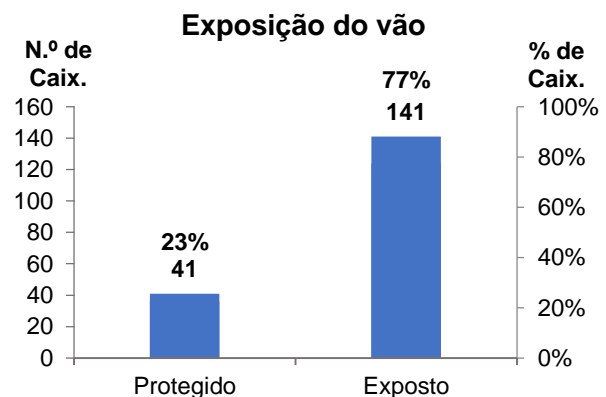


Figura 3.12 - Distribuição da amostra analisada segundo a exposição do vão

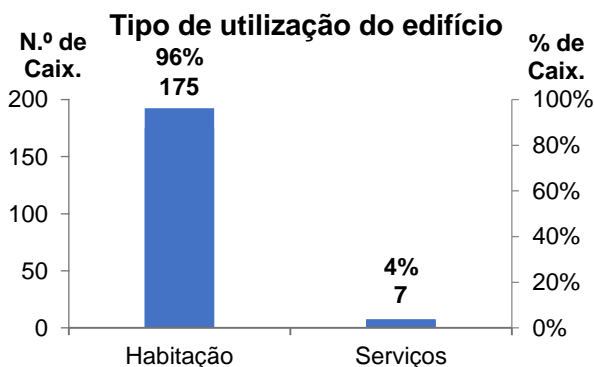


Figura 3.13 - Distribuição da amostra estudada segundo o tipo de utilização do edifício

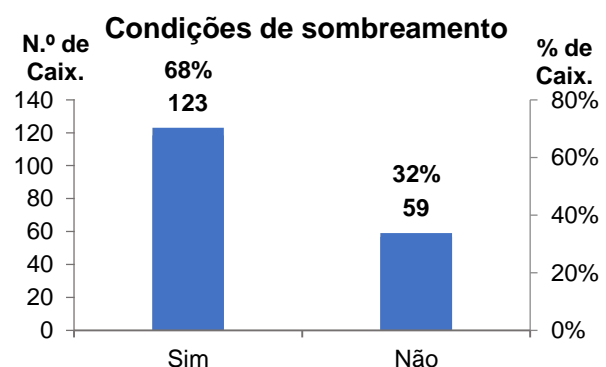


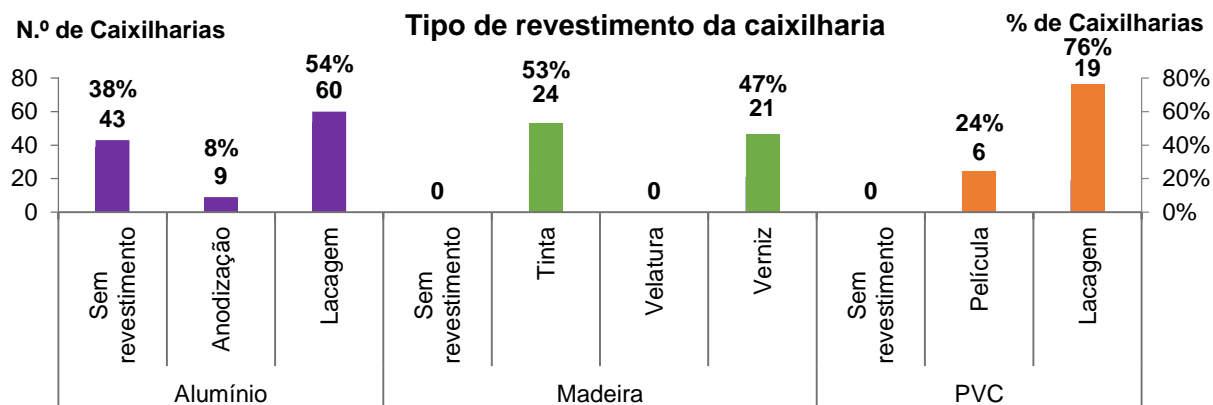
Figura 3.14 - Distribuição da amostra segundo a existência de condições de sombreamento

No que concerne ao revestimento das caixilharias analisadas, apresenta-se na Figura 3.15 a sua distribuição pelos diferentes tipos, associado ao material da caixilharia. O principal tipo de revestimento observado nas caixilharias de alumínio e PVC é a lacagem e no caso da madeira existe uma distribuição equilibrada entre a tinta e o verniz.

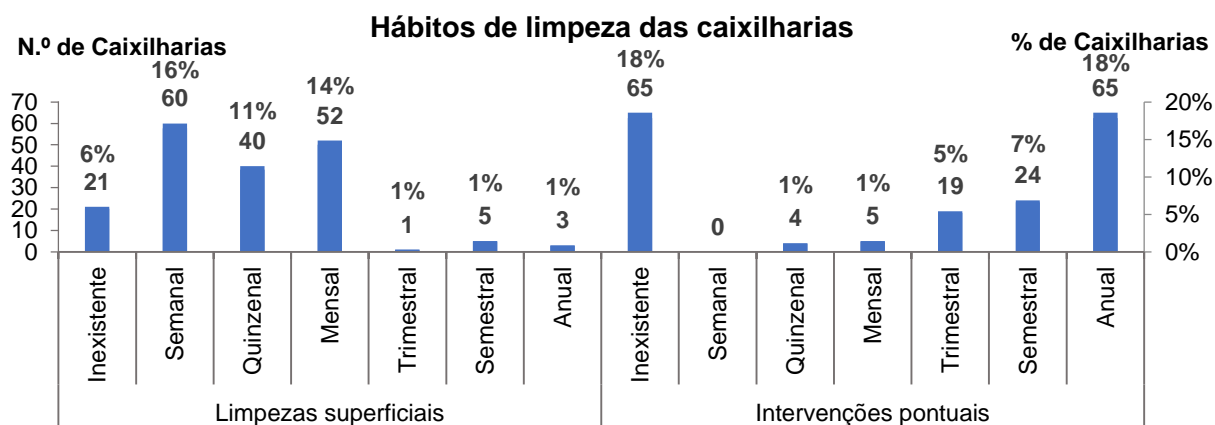
### 3.4.3 Caracterização dos hábitos dos utilizadores

Como referido, os hábitos dos utilizadores têm um impacto directo não só na exposição da caixilharia aos elementos atmosféricos, pela frequência e duração de utilização dos estores ou outros dispositivos de sombreamento, como na propagação de algumas anomalias, através das acções de limpeza. Na Figura 3.16, apresenta-se a distribuição da amostra estudada segundo o tipo de manutenção imple-

mentada e a sua periodicidade. As manutenções efectuadas sobre as caixilharias por parte dos utilizadores foram classificadas segundo dois grupos: i) limpezas superficiais; ii) intervenções pontuais. As limpezas superficiais são usualmente pouco morosas, entre elas a limpeza com recurso a água / detergente dos vidros, vedantes e caixilho. As intervenções pontuais compreendem acções sobre a caixilharia com periodicidade alargada, entre elas a lubrificação das ferragens e a limpeza profunda do caixilho, retirando as folhas móveis se necessário. Este tipo de intervenção não engloba reparações ou substituições dos componentes da caixilharia.



**Figura 3.15 - Distribuição da amostra analisada segundo o revestimento da caixilharia e o seu material**



**Figura 3.16 - Distribuição da amostra relativamente à manutenção aplicada pelo utilizador**

Na Figura 3.17, pode-se observar a distribuição da amostra analisada segundo a frequência de operação da caixilharia. A operação ou abertura da janela tem como objectivo principal a ventilação, sendo na maioria dos casos estudados efectuada diariamente (54%).

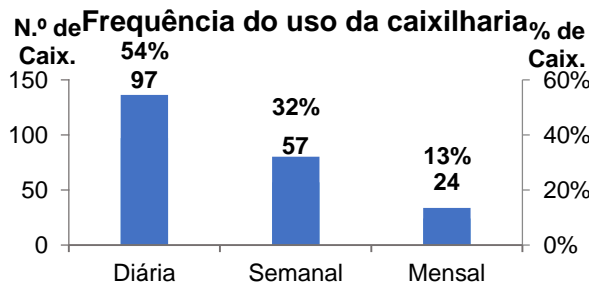
Na Figura 3.18, apresenta-se o número de horas diárias em que a caixilharia se encontra protegida pelos dispositivos de sombreamento. Como referido, os estores e portadas exteriores têm impacte na exposição da caixilharia aos factores de degradação, sendo por isso importante analisar qual o tempo efectivo do seu uso.

### 3.4.4 Caracterização das zonas estudadas

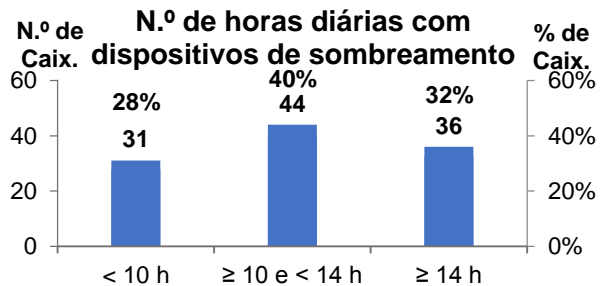
A distribuição geográfica das zonas estudadas, relativamente ao distrito e concelho em que se insere, é apresentada na Figura 3.19. Dos 182 casos analisados, 141 encontram-se a mais de 5 km do mar, 26 numa zona intermédia entre 1 e 5 km do mar e 15 a menos de 1 km do mar; a sua distribuição pode ser observada



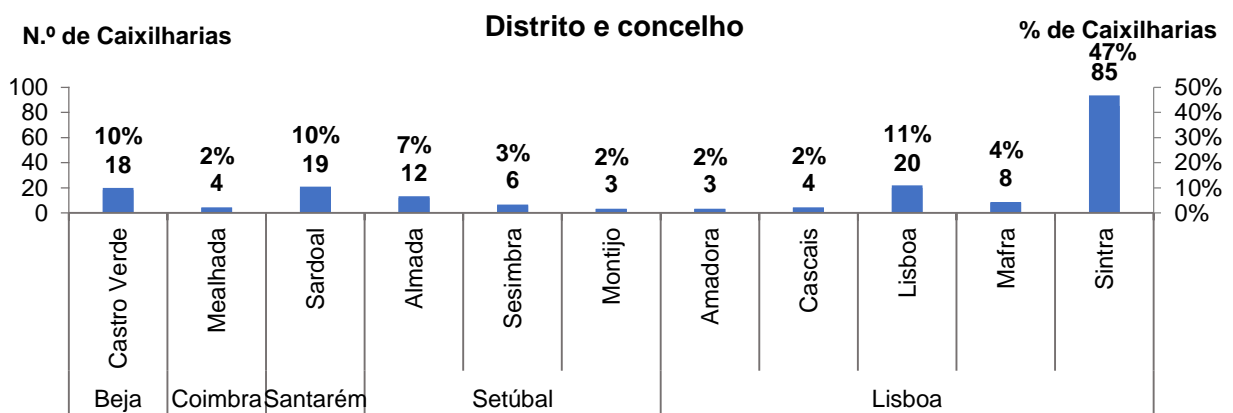
na Figura 3.20. No que concerne à distribuição da amostra segundo o tipo de envolvente, a grande parte dos casos (69%) pertence à envolvente urbana, 31% pertence à envolvente. Esta distribuição pode ser observada na Figura 3.21.



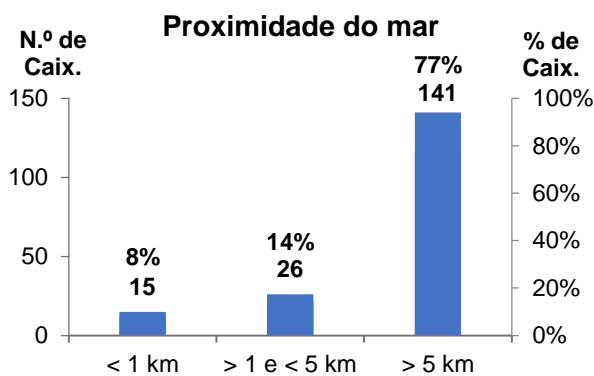
**Figura 3.17 - Distribuição da amostra estudada segundo a frequência de operação da caixilharia**



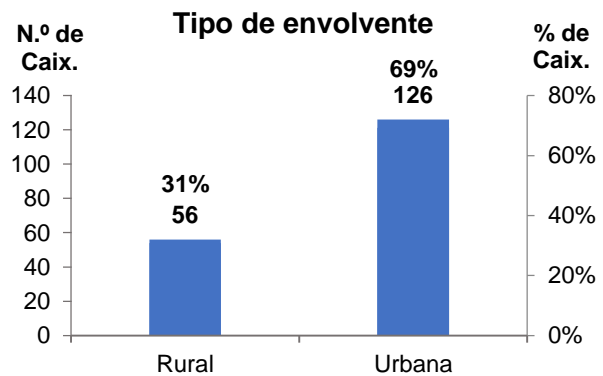
**Figura 3.18 - Distribuição da amostra segundo o número de horas diárias em que a caixilharia se encontra protegida**



**Figura 3.19 - Distribuição da amostra analisada relativamente ao distrito e concelho em que se insere**



**Figura 3.20 - Distribuição da amostra estudada segundo a proximidade ao mar**



**Figura 3.21 - Distribuição da amostra segundo o tipo de envolvente**

Na Figura 3.22, apresenta-se a distribuição da amostra analisada segundo a sua orientação. A orientação preferencial das janelas é aquela que permite um maior aproveitamento da luz solar, ou seja, a orientação a Sul. Porém, essa expressão foi atenuada pelo esforço em obter uma amostra o mais diversificada possível. Ainda assim, a maioria dos casos apresenta orientação a Sul, seguido pelas orientações a Oeste e Este e, por fim, com o menor número de casos, a orientação a Norte.

Na Figura 3.23, pode-se observar a distribuição da amostra analisada segunda a sua exposição a agentes poluentes. Dos casos analisados, 26 apresentam uma exposição alta a agentes poluentes, 76

uma exposição média, 30 uma exposição baixa e por fim, 50 uma exposição nula a agentes poluentes. O zoneamento térmico permite perceber o gradiente térmico a que a amostra se encontra exposta. A zona térmica de Verão corresponde à temperatura máxima do ar à sombra, correspondente ao quantil de 98% da distribuição de máximos anuais dos valores médios horários, e a zona térmica de Inverno à temperatura mínima à sombra, correspondente ao quantil de 2% da distribuição de mínimos anuais dos valores médios horários. A zona A corresponde a um gradiente entre 45 e -5 °C e a zona B a um gradiente entre 40 e 0° C. Na Figura 3.24, apresenta-se a distribuição da amostra analisada segundo a zona térmica em que se insere, sendo a grande maioria dos casos pertencente à zona B, ou seja, um gradiente térmico intermédio. No anexo A.I, é possível analisar em detalhe a classificação do zoneamento térmico do território nacional.

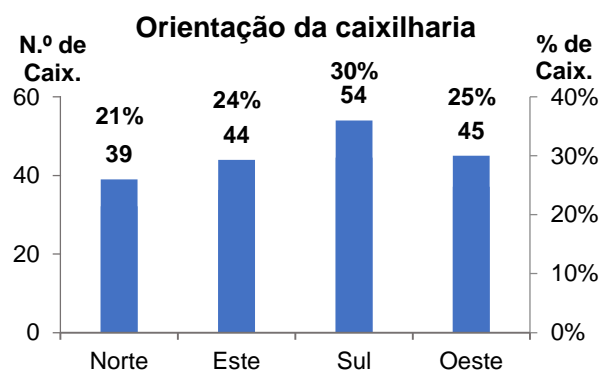


Figura 3.22 - Distribuição da amostra estudada segundo a orientação da caixilharia

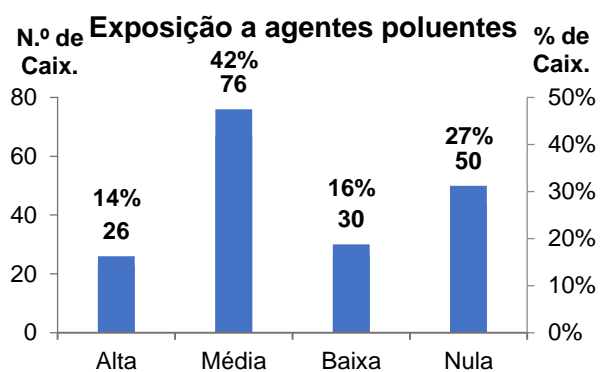


Figura 3.23 - Distribuição da amostra em relação à exposição a agentes poluentes

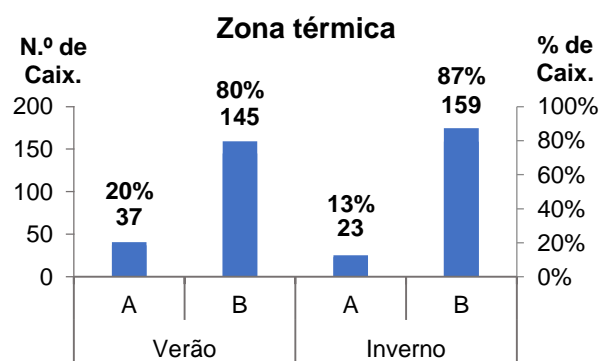


Figura 3.24 - Distribuição da amostra estudada segundo a zona térmica em que se insere

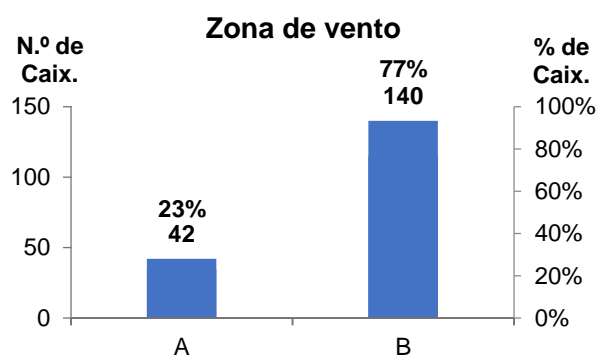


Figura 3.25 - Distribuição da amostra relativamente à zona de acção vento

Na Figura 3.25, pode-se observar a distribuição da amostra relativamente à acção do vento. A zona B corresponde a áreas perto do litoral do país, onde a acção do vento é superior e a zona A a áreas no interior do país, onde a acção do vento é inferior. A maioria dos casos presentes na amostra corresponde à zona B (77%) e os restantes à zona A (23%). No anexo A.II, é apresentada em detalhe a classificação da área continental segundo a zona de acção do vento.

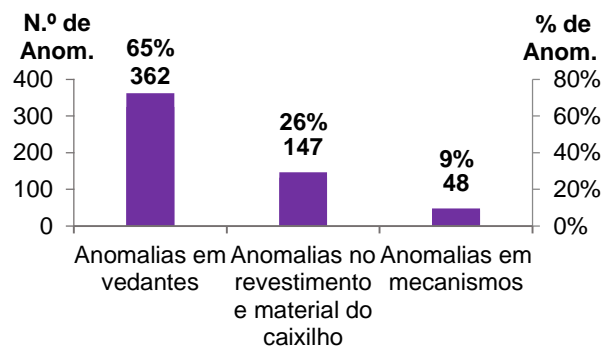
### 3.4.5 Caracterização das anomalias detectadas

Neste subcapítulo, é apresentada a caracterização das anomalias encontradas nos diferentes tipos de materiais de caixilharias, sendo para cada material exibida a frequência com que foi observado cada grupo de

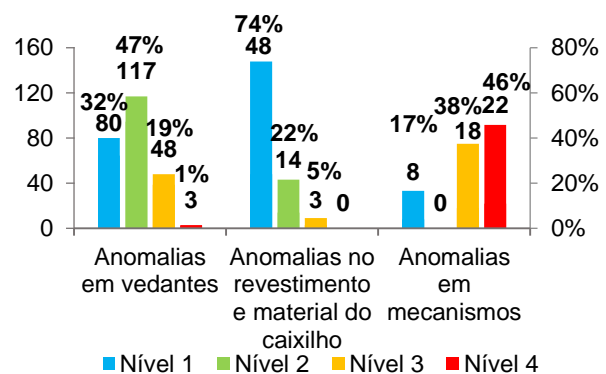
anomalias, os níveis de degradação associados e por fim, uma análise em detalhe de cada grupo.

### 3.4.5.1 Caracterização das anomalias presentes nas caixilharias de alumínio

A Figura 3.26 apresenta a distribuição das anomalias analisadas na amostra de alumínio pelos grupos de anomalias definidas no Capítulo 3.3.1. As anomalias mais recorrentes são relacionadas com os vedantes (65%), seguidas das anomalias referentes ao revestimento e material do caixilho (26%) e, por fim, as anomalias em mecanismos (9%). Na Figura 3.27, pode-se observar a distribuição dos níveis de degradação associados aos grupos de anomalias. Apesar de as anomalias em mecanismos representarem apenas 9% das anomalias analisadas em caixilharias de alumínio, estas apresentam a maior percentagem de anomalias com nível 4 de degradação (46%), esta informação é analisada em maior detalhe seguidamente, quando for examinado em detalhe cada grupo de anomalias.



**Figura 3.26 - Frequência relativa e absoluta global dos grupos de anomalias (alumínio)**



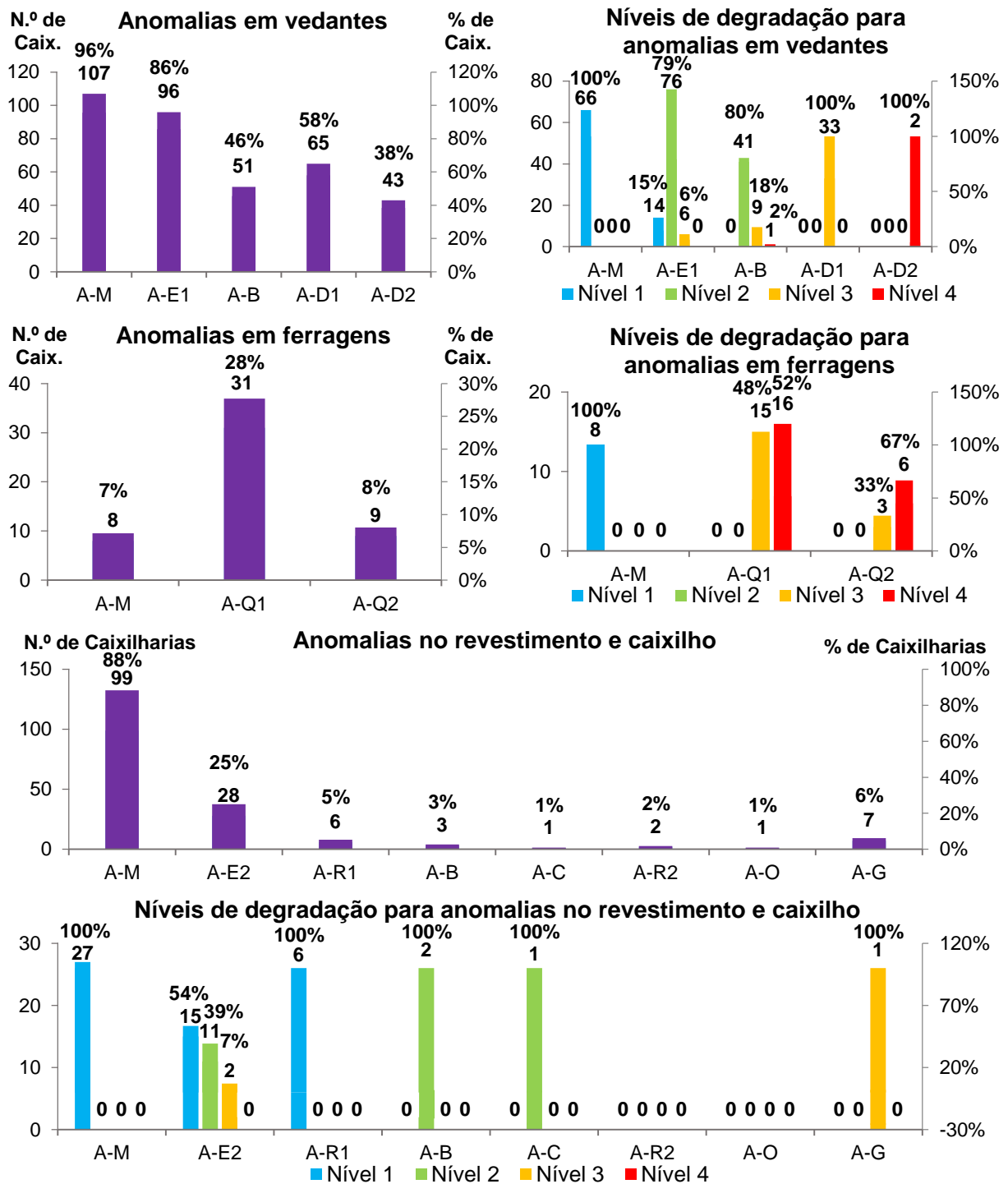
**Figura 3.27 - Distribuição dos níveis de degradação pelos grupos de anomalias (alumínio)**

Na Figura 3.28, apresenta-se a distribuição da amostra analisada segundo o tipo de anomalias detectadas durante o trabalho de campo para cada grupo de anomalias e ainda a respectiva distribuição dos níveis de degradação. No que respeita às anomalias em vedantes, as anomalias mais frequentemente registadas são a acumulação de sujidade (A-M) (96%) e a alteração de cor/deterioração superficial do vedante (AE-1) (86%). Foram ainda registados três casos de anomalias com nível 4 de degradação.

As anomalias em ferragens são caracterizadas pela expressividade da anomalia corrosão / degradação dos mecanismos e pelos altos níveis de degradação associados ao grupo. Este aspecto pode ser explicado pelo facto de o grupo de anomalias das ferragens não conter o segundo nível de degradação, pelos motivos anteriormente explicados, dada a importância do bom funcionamento deste componente.

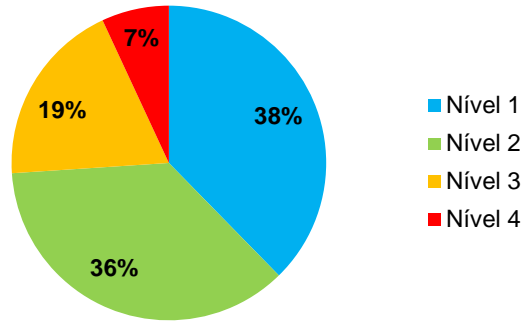
No que concerne às anomalias relacionadas com o revestimento e material do caixilho, verifica-se uma baixa manifestação de anomalias, com excepção da acumulação de sujidade (A-M) e a alteração da cor do revestimento (A-E2); ambas são anomalias superficiais e, conseqüentemente, apresentam baixos níveis de degradação associados. A baixa ocorrência de anomalias com níveis de degradação elevados pode estar relacionada com a alta durabilidade usualmente atribuída ao alumínio, significando que, mesmo em situações em que o revestimento apresenta alguma degradação, a integridade do material da caixilharia não se encontra excessivamente comprometida.

Como é possível observar na Figura 3.29, o nível 1 de degradação é o que apresenta maior número de casos (38%), seguido do nível 2 que ocorre em 36% dos casos, do nível 3 com 19% e por fim, do nível 4, com uma frequência de 7%. A maior expressão do nível 1 pode ser explicado pela elevada incidência de acumulação de sujidade, que representa apenas o nível 1 de degradação.



**A-B** - colonização biológica; **A-C** - destacamento do revestimento; **A-D1** - desprendimento / descontinuidade dos cordões de estanqueidade; **A-D2** - ausência dos cordões de estanqueidade; **A-E1** - alteração da cor / deterioração superficial do vedante; **A-E2** - alteração da cor do revestimento; **A-G** - folgas e / ou frestas; **A-M** - acumulação de sujidade; **A-O** - deformação da caixilharia; **A-Q1** - corrosão / degradação dos mecanismos; **A-Q2** - mecanismos em falta / danificados; **A-R1** - fissuração / ponteados do revestimento; **A-R2** - corrosão do material do caixilho

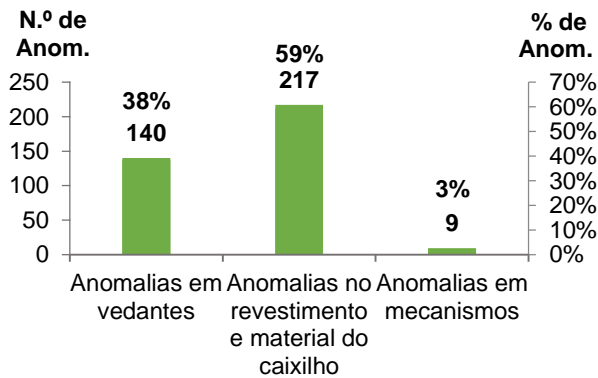
**Figura 3.28 - Distribuição da amostra analisada relativamente às anomalias detectadas segundo os diferentes grupos de anomalias e níveis de degradação (alumínio)**



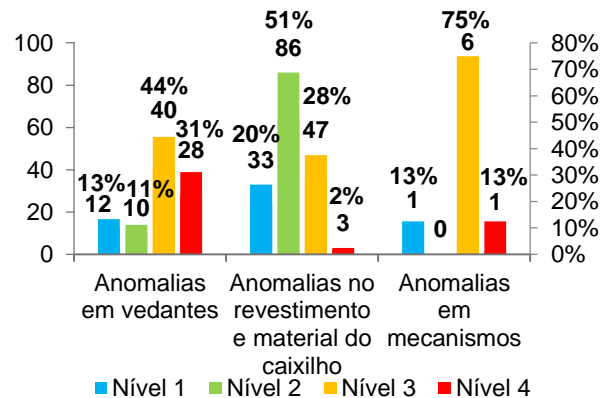
**Figura 3.29 - Distribuição dos níveis de degradação das anomalias detectadas para a amostra de alumínio**

### 3.4.5.2 Caracterização das anomalias presentes nas caixilharias de madeira

Na Figura 3.30, apresenta-se a distribuição da amostra analisada de madeira segundo os diferentes grupos de anomalias. O tipo de anomalias mais frequente é o relacionado com o revestimento e material do caixilho, totalizando 59% das anomalias registadas, seguido pelas anomalias em vedantes com 38% e, por fim, as anomalias em mecanismos, com uma ocorrência de 3%. Na Figura 3.31, pode-se observar a distribuição dos níveis de degradação associados aos grupos de anomalias. As anomalias em vedantes apresentam uma grande taxa de ocorrência, com um nível de degradação igual ou superior a 3 (75%), sendo ainda de destacar o elevado valor de anomalias no revestimento e material do caixilho com níveis de degradação 2 (51%) e 3 (28%). Em relação aos níveis de degradação das anomalias no grupo dos mecanismos, é possível observar, como seria de esperar, o fenómeno descrito na caracterização das anomalias presentes nas caixilharias de alumínio, em que, apesar de existirem poucas anomalias registadas, estas apresentam níveis de degradação elevados ( $\geq 3$ ).



**Figura 3.30 - Frequência relativa e absoluta dos grupos de anomalias (madeira)**

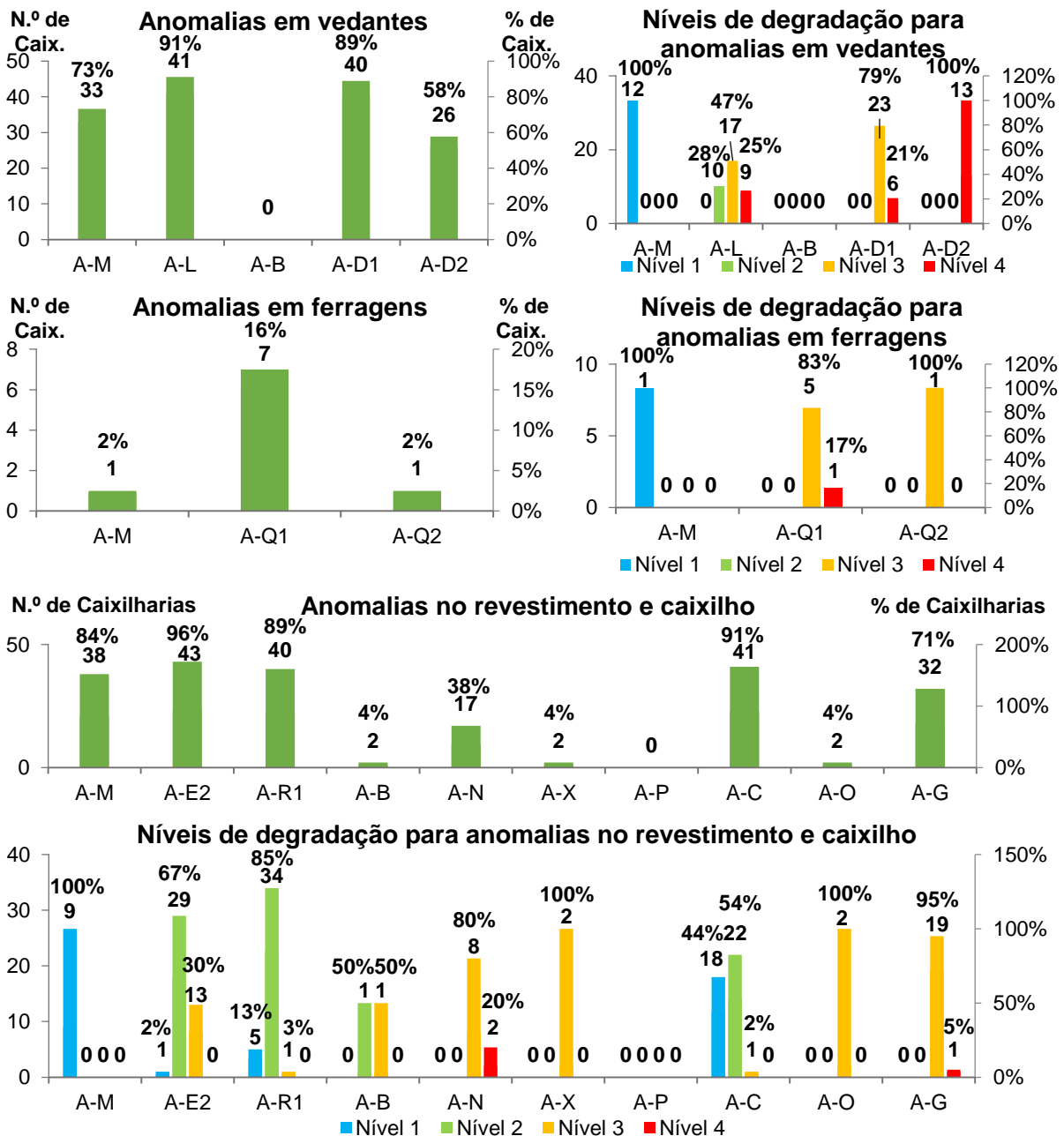


**Figura 3.31 - Distribuição dos níveis de degradação segundo os grupos de anomalias (madeira)**

Na Figura 3.32, apresenta-se a distribuição da amostra analisada de madeira segundo o tipo de anomalias detectadas durante o trabalho de campo para cada grupo de anomalias e ainda a respectiva distribuição dos níveis de degradação.

No que concerne às anomalias em vedantes, é de salientar a elevada manifestação de anomalias que envolvem a degradação grave dos vedantes, ou seja, da massa de vidraceiro, sendo contabilizados um total de 40 casos (89%) de anomalias que envolvem o seu desprendimento ou descontinuidade (A-D1) e ainda 26 casos (58%) da sua ausência (A-D2). A elevada degradação observada na massa de vidraceiro pode ter

origem na sua reduzida durabilidade quando comparada com a borracha de EPDM, ou ainda na ausência da manutenção necessária ao bom funcionamento da caixilharia de madeira, que necessita de acções mais frequentes quando comparada com a de alumínio ou PVC. São de notar os 41 casos (91%) de deterioração do revestimento da massa de vidraceiro, facilitando a acção dos agentes agressivos sobre a massa de vidraceiro e, conseqüentemente, acelerando a sua degradação. Associado às anomalias descritas, e como seria de esperar, é visível a existência de valores elevados para os níveis de degradação, tendo sido analisado um total de 28 casos de anomalias na massa de vidraceiro com nível 4 de degradação.

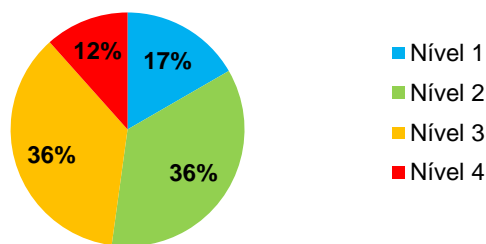


**A-B** - colonização biológica; **A-C** - destacamento do revestimento; **A-D1** - desprendimento / descontinuidade dos cordões de estanqueidade; **A-D2** - ausência dos cordões de estanqueidade; **A-E1** - alteração da cor / deterioração superficial do vedante; **A-E2** - alteração da cor do revestimento; **A-G** - folgas e / ou frestas; **A-M** - acumulação de sujidade; **A-N** - envelhecimento do material da caixilharia; **A-O** - deformação da caixilharia; **A-P** - ataque de fungos de podridão/bolores; **A-Q1** - corrosão / degradação dos mecanismos; **A-Q2** - mecanismos em falta / danificados; **A-R1** - fissuração / ponteados do revestimento; **A-X** - ataque de xilófagos (térmitas/caruncho)

**Figura 3.32 - Distribuição da amostra analisada relativamente às anomalias detectados segundo os diferentes grupos de anomalias e níveis de degradação (madeira)**

Nas anomalias em ferragens, é de destacar a corrosão / degradação dos mecanismos como a anomalia mais frequente, tendo sido registados 7 casos, dos quais 5 foram classificados com nível 3 de degradação e um com nível 4. No que concerne às anomalias do revestimento e material do caixilho, é de destacar o elevado número de anomalias analisadas relacionadas com o revestimento, sendo as anomalias mais recorrentes a alteração da cor do revestimento (A-E2), a fissuração / ponteados do revestimento (A-R1) e o destacamento do revestimento (A-C). A existência e propagação destas anomalias permite o desenvolvimento de anomalias no material do caixilho como o envelhecimento da madeira (A-N), tendo sido registados 17 ocorrências da anomalia, sendo 8 classificadas com o nível 3 de degradação e duas com o nível 4 de degradação. Foram também registados 32 casos de folgas e/ou fretas (A-G), dos quais 19 apresentam o nível de degradação 3 e um o nível de degradação 4. Por fim, é de referir a baixa ocorrência registada de anomalias relativas ao ataque de xilófagos, fungos de podridão e colonização biológica, dos quais foram apenas identificados 2 casos de ataques de xilófagos e de colonização biológica.

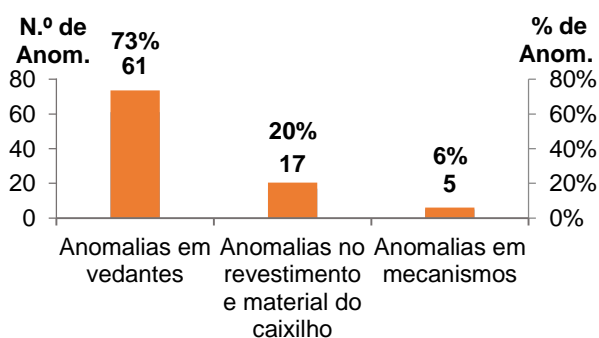
Como é possível observar na Figura 3.33, os níveis 2 e 3 de degradação registaram iguais números de anomalias (36%), seguidos pelo nível 1 de degradação (com uma frequência de 17%) e, por fim, o nível 4 (com uma frequência de 12%). Quando comparado com as anomalias registadas nas caixilharias em alumínio, é evidente a existência de valores mais elevados dos níveis de degradação para as anomalias analisadas em caixilharias em madeira.



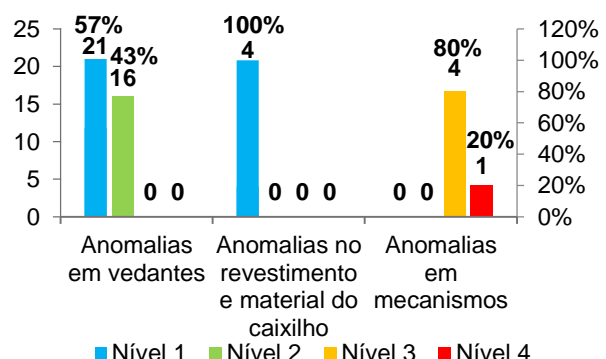
**Figura 3.33 - Distribuição do nível de degradação das anomalias detectadas para a amostra de madeira**

### 3.4.5.3 Caracterização das anomalias presentes nas caixilharias de PVC

Na Figura 3.34, é possível observar a distribuição da amostra analisada de PVC segundo os diferentes grupos de anomalias.



**Figura 3.34 - Frequência relativa e absoluta dos grupos de anomalias (PVC)**



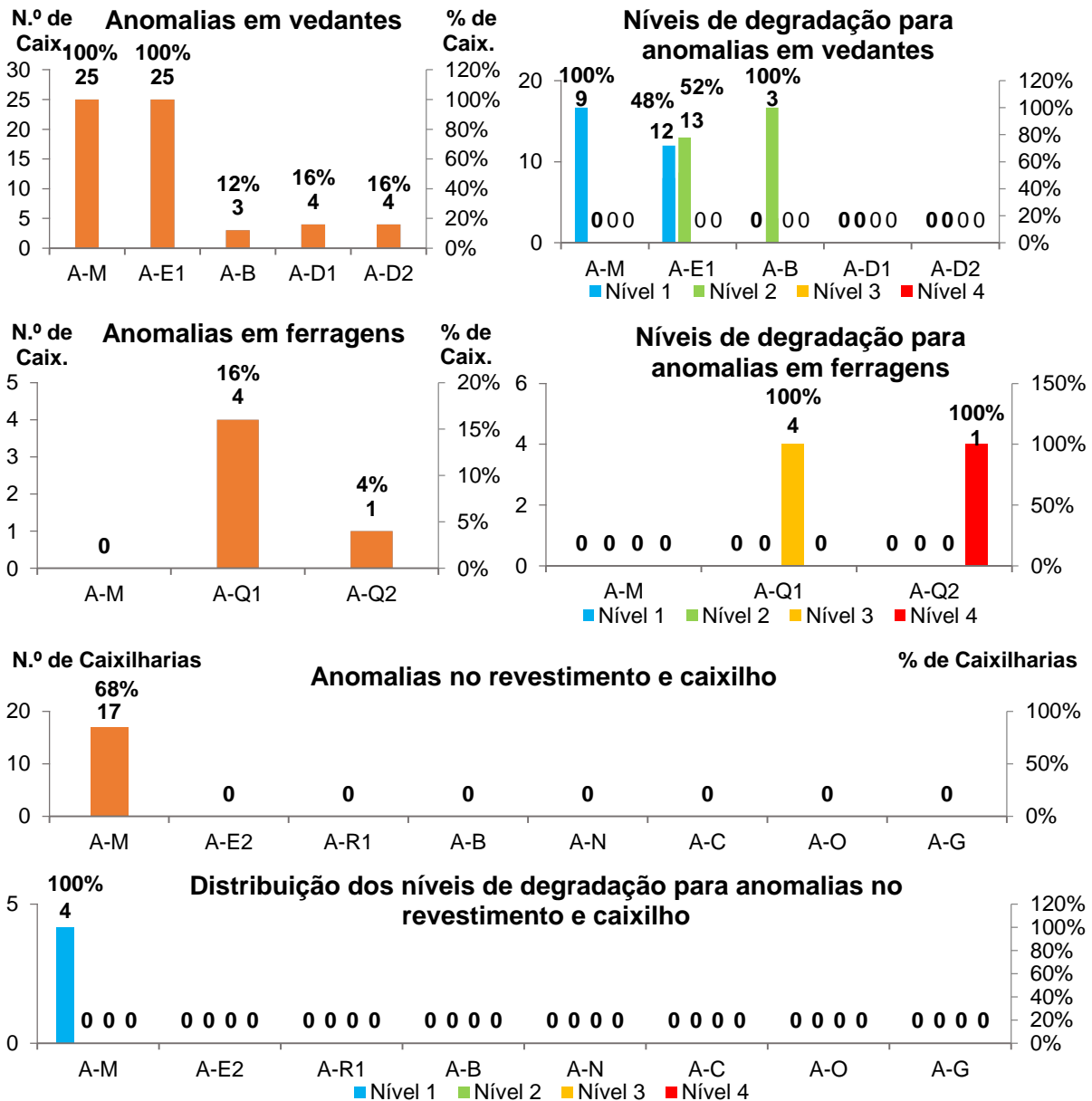
**Figura 3.35 - Distribuição dos níveis de degradação segundo os grupos de anomalias (PVC)**

Foi detectado um total de 61 anomalias relacionadas com os vedantes, 17 relacionadas com o revestimento e material do caixilho e 5 referentes aos mecanismos. Na Figura 3.35, é apresentada a distribuição dos níveis de degradação associados aos grupos de anomalias. Quando comparado com os dois



materiais apresentados, é evidente o menor número de anomalias com níveis de degradação elevados, tendo sido apenas detectada uma anomalia com nível 4 de degradação e quatro de nível 3, associadas à degradação de mecanismos.

Na Figura 3.36, pode-se observar a distribuição da amostra analisada de PVC segundo as anomalias detectadas durante o trabalho de campo para cada grupo de anomalias e ainda a respectiva distribuição dos níveis de degradação.



**A-B** - colonização biológica; **A-C** - destacamento do revestimento; **A-D1** - desprendimento / descontinuidade dos cordões de estanqueidade; **A-D2** - ausência dos cordões de estanqueidade; **A-E1** - alteração da cor / deterioração superficial do vedante; **A-E2** - alteração da cor do revestimento; **A-G** - folgas e / ou frestas; **A-M** - acumulação de sujidade; **A-N** - envelhecimento do material da caixilharia; **A-O** - deformação da caixilharia; **A-Q1** - corrosão / degradação dos mecanismos; **A-Q2** - mecanismos em falta/danificados; **A-R1** - fissuração / ponteados do revestimento

**Figura 3.36 - Distribuição da amostra analisada relativamente às anomalias detectados pelos diferentes grupos de anomalias e níveis de degradação (PVC)**

No grupo das anomalias em vedantes, é possível verificar a acumulação de sujidade (A-M) e a alteração da cor/deterioração superficial do vedante (A-E1), como as anomalias mais recorrentes nas caixilharias analisadas. Estas anomalias são superficiais, ou seja, não afectam directamente o desempenho da caixilharia,

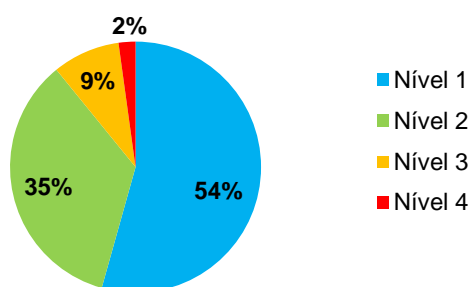


algo que é possível observar pela elevada incidência de anomalias de nível 1 e 2 de degradação. Foram ainda detectados 3 casos de colonização biológica (A-B), associados ao nível 2 de degradação. Por fim, é importante referir 4 casos detectados com ausência dos cordões de estanqueidade, os quais não se refletem em níveis de degradação elevados. Este fenómeno pode ser explicado pelo facto de se tratarem de anomalias muito pouco extensas e que, por isso, não resultam em falhas de estanqueidade. Contudo, podem mais tarde vir a desenvolver-se e a resultar na perda de desempenho da caixilharia.

No que concerne às anomalias em ferragens, é de destacar os 4 casos de corrosão/degradação dos mecanismos, que foram identificados em caixilharias na zona da Mealhada, que provavelmente são resultado da humedificação da caixilharia devido ao alto gradiente térmico entre o interior e exterior do edifício (hotel). Foi ainda identificado um caso de um mecanismo partido numa porta de varanda.

Nas anomalias referentes ao revestimento e material da caixilharia, não foram identificadas anomalias além da acumulação de sujidade em 17 casos.

A baixa identificação de anomalias em caixilharias de PVC pode ser explicada pelo facto de o número de casos de estudo ser o menor dos três materiais analisados, associado ao facto de se tratar do material com a gama de idades mais baixa, resultando num número inferior de anomalias e baixos níveis de degradação, algo que seria de esperar. A distribuição dos níveis de degradação gerais pode ser observada na Figura 3.37.



**Figura 3.37 - Distribuição do nível de degradação das anomalias detectadas para a amostra de PVC**

### 3.5 Conclusão

O presente capítulo apresenta (numa primeira parte, anterior ao trabalho de campo): i) a definição dos factores de degradação condicionantes; ii) a descrição da ficha de inspecção a utilizar no trabalho de campo; iii) a metodologia a seguir durante a recolha de dados; e iv) a hierarquia da severidade das anomalias, resultando nos níveis de degradação de cada um dos grupos de anomalias consideradas. Numa segunda fase, posterior ao trabalho de campo, procedeu-se à: i) descrição dos casos excluídos, sendo apresentados os critérios utilizados para tal; ii) caracterização da amostra recolhida, através da análise dos hábitos dos utilizadores, das características das zonas estudadas e das anomalias observadas. Durante o trabalho de campo, foi inspeccionado um total de 189 caixilharias, das quais 182 foram caracterizadas neste capítulo. No Capítulo 4, é feita a análise da influência dos diversos factores considerados no presente capítulo.



## 4. Modelos de degradação de caixilharias

### 4.1 Introdução

O presente capítulo tem como objectivo a elaboração de um modelo de previsão de vida útil de caixilharias. O modelo a desenvolver é baseado na metodologia apresentada por Gaspar (2009), tendo em conta as características específicas das caixilharias, enunciadas no Capítulo 2, e os dados obtidos durante o trabalho de campo (Capítulo 3). É avaliada a influência da idade na degradação das caixilharias, através da identificação das anomalias presentes nas mesmas, assim como a de diversas características e condições de exposição, considerados durante o trabalho de campo, como o tipo de material da caixilharia, a orientação do vão, os hábitos dos utilizadores, entre outras. O objectivo final é a determinação de um valor para a vida útil de caixilharias, sendo de referir que os resultados obtidos devem ser interpretados com alguma reserva, pois são baseados em inspecções visuais (empíricas) e por isso sujeitos a incertezas. Contudo, constituem uma fase preliminar para investigações de modelos analíticos, que cruzam o conhecimento teórico com os dados recolhidos em campo.

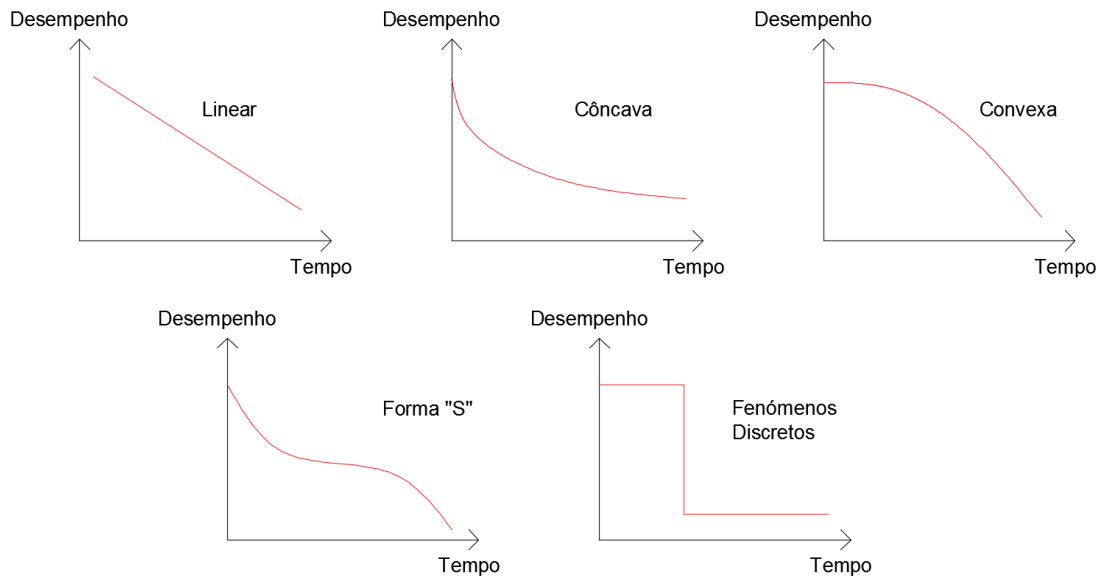
### 4.2 Evolução da degradação

O método gráfico é a metodologia utilizada para a obtenção da previsão da vida útil das caixilharias. Esta metodologia enquadra-se nos modelos determinísticos e, através do ajuste de curvas de degradação, pretende representar o desempenho do material ou componente ao longo da sua vida útil (Chai *et al.*, 2014). As curvas de degradação podem ser obtidas através de uma análise de regressão simples ajustada à amostra recolhida em trabalho de campo, após esta ter sido representada graficamente, onde no eixo horizontal ( $x$ ) é expressa a idade do elemento ou material e no eixo vertical ( $y$ ) o estado de degradação do mesmo (Silva, 2015).

As curvas de degradação apresentam diversos tipos de andamento (diferentes padrões), que variam em função dos fenómenos de degradação e das condições de exposição aos mesmos (Gaspar, 2009). Shohet *et al.* (1999) apresentam quatro tipos de padrões de degradação (ilustrados na Figura 4.1):

- evolução linear: padrão associado regularmente a fenómenos de degradação contínuos e regulares sobre o elemento ou material; por exemplo, a radiação UV sobre materiais como a madeira ou o PVC, causa um envelhecimento constante do material e conseqüentemente, a deterioração do seu desempenho;
- padrão convexo: associado a fenómenos físicos ou químicos, que têm uma acção inicialmente lenta, mas efeitos cumulativos sobre o elemento; neste caso, quanto maior a degradação, maior a probabilidade de esta ocorrer a uma maior velocidade e de manifestar uma falha crítica; se não existirem anomalias prematuras, este padrão é considerado como o mais adequado para caracterizar os fenómenos de degradação dos materiais (Gaspar, 2009);
- padrão côncavo: associado a um padrão de degradação de rápido desenvolvimento inicial, mas cujo potencial de degradação diminui ao longo do tempo; este tipo de degradação está ligado a agentes de degradação biológicos (Gaspar, 2009);
- padrão em “S”: que corresponde a fenómenos de evolução rápida inicial, seguido de uma aparente estabilização, mas que voltam a surgir originando uma degradação novamente mais ace-

lerada; este tipo de degradação está usualmente associado a anomalias prematuras que, inicialmente têm um impacto directo no elemento, mas que só mais tarde, com o avanço do mecanismo de degradação, com origem na anomalia inicial e a sinergia com outras, tem efeitos mais severos sobre a construção (Gaspar, 2009).



**Figura 4.1 - Curvas de degradação correspondentes aos padrões de degradação linear, côncavo, convexa, forma em "S" e fenômenos discretos (adaptado de Shohet *et al.*, 1999 e Gaspar, 2009)**

Além da descrição e referências a estes padrões, Gaspar (2009) alude ainda à degradação devido a fenômenos discretos (ilustrada na Figura 4.1), expressos por uma função descontínua, ou seja, por patamares. Este padrão está associado a ações de natureza acidental ou catástrofes naturais, não sendo previsíveis ou modeláveis. No presente trabalho, não serão considerados no modelo de previsão proposto anomalias de causas acidentais ou aleatórias, como os vidros partidos, cujas causas mais prováveis são apresentadas no Capítulo 2; estas situações não constituem um fenômeno modelável, nem representam a evolução da degradação de caixilharias ao longo do tempo.

A utilização do método gráfico para o cálculo da previsão de vida útil de componentes não estruturais, como nas caixilharias, tem a possibilidade de integrar níveis críticos de desempenho que limitem o fim de vida útil, por exemplo a perda de estanqueidade, nas impermeabilizações. Independentemente do padrão de degradação, é ainda possível definir bandas para limites superiores e inferiores de forma a acomodar variações, definindo as condições mais favoráveis e menos favoráveis do desempenho do elemento (Silva, 2015).

### **4.3 Definição do fim de vida útil de caixilharias**

Segundo a norma ISO 15686-1, a vida útil ou período de serviço de um elemento da construção, é o período de tempo durante o qual este funciona dentro dos níveis de degradação mínimos aceitáveis, numa situação de manutenção corrente. De acordo com Gaspar (2009), o fim da vida útil de um material ou componente corresponde à manifestação de pelo menos uma falência, de ordem intrínseca ao elemento, normativa ou subjectiva, que resulta na falha do cumprimento das exigências atribuídas ao elemento, representando assim o limiar crítico a partir do qual se considera ser necessária uma intervenção no mesmo.

A definição do limiar para o fim da vida útil não é fácil, pois os critérios do que é aceitável variam ao longo do tempo e a sua definição pode também variar consoante se trate de exigências de segurança,

funcionalidade ou aparência (Gaspar e Brito, 2005)). As exigências requeridas para as caixilharias foram apresentadas no Capítulo 2. Sobretudo nos casos das exigências de aparência ou critérios estéticos, estes estão associados à avaliação de cada utilizador, apresentando uma natureza subjectiva.

Nas caixilharias, a obsolescência é uma das principais causas para a substituição das mesmas. Na norma ISO 15868, a obsolescência é definida como “a perda de aptidão de um determinado item para desempenhar as suas funções devido a alterações no nível de desempenho exigido”. Assim, em caixilharias que ainda cumprem as suas exigências originais, mas que foram substituídas pelo utilizador, por uma alternativa com melhor desempenho (e.g. desempenho térmico), considera-se que a caixilharia atingiu a obsolescência tecnológica (ISO 15686-1, 2011)).

No presente trabalho, a abordagem à análise da degradação é similar à sugerida por diversos autores (Shohet *et al.*, 2003; Gaspar, 2002, 2009), que definem patamares de degradação. É assim adoptado o mesmo critério do que Gaspar (2002), Silva (2009) e Serralheiro *et al.* (2017), considerando como o fim da vida útil do elemento em estudo o nível 3 de degradação (os níveis de degradação considerados foram descritos no Capítulo 3). Assim, para estimar a vida útil, intercepta-se a curva de degradação com a linha horizontal correspondente com nível máximo de degradação aceitável, ou seja, o nível 3 de degradação.

#### **4.4 Metodologia para a estimativa da vida útil de caixilharias**

Como referido, na presente dissertação, foi adoptado o modelo de Gaspar (2009), baseado no conceito de patamares de degradação física. Para tal, após a recolha dos dados correspondentes ao trabalho de campo, estes são utilizados no cálculo de índices que permitem obter modelos de degradação através do método gráfico. Seguidamente, são descritos os vários índices e os passos necessários para a determinação da severidade da degradação, que traduz o estado geral da degradação das caixilharias.

##### **4.4.1 Modelo de Gaspar (2009)**

No modelo de Gaspar (2009), para a determinação da severidade de degradação ( $S_w$ ) de um revestimento de fachada, são quantificados vários parâmetros, entre eles a área total da fachada ( $A$ ), expressa em  $m^2$ , a área degradada ponderada ( $A_w$ ), obtida pelo produto da área afectada por cada anomalia pela constante que traduz a sua condição, expressa em  $m^2$ . Porém, nas caixilharias, a quantificação das dimensões dos seus componentes e respectivas anomalias detectadas é feita, para os vedantes e caixilho, por centímetro linear, e nos mecanismos, a quantificação é por elemento afectado. Assim, é necessário proceder a alguns ajustes aos passos seguidos por Gaspar (2009), de forma a permitir o somatório do efeito das diversas anomalias que afectam diferentes componentes, permitindo a correcta quantificação da degradação global da caixilharia.

Este problema é ultrapassado através do tratamento separado de cada grupo de anomalia, até ao cálculo da extensão da degradação ( $E$ ), que é expressa em percentagem e por isso permite o somatório da degradação dos vários grupos de anomalias das caixilharias.

Em suma, os parâmetros utilizados para a determinação da severidade da degradação ( $S_w$ ) de uma caixilharia são os seguintes:

- dimensões totais dos vedantes, caixilho e número de mecanismos ( $L$ ), expresso em cm e  $n^o$  de unidades, respectivamente - obtidas durante o trabalho de campo;

- degradação ponderada ( $L_w$ ), expresso em cm e n.º de unidades - obtida pelo produto da parcela de elemento afectado por cada anomalia pela constante que traduz a importância relativa do tipo de anomalia;
- extensão da degradação ( $E$ ), expressa em percentagem - obtida através do somatório das razões entre as parcelas degradadas de cada componente da caixilharia (vedantes, caixilho e mecanismos) e a sua dimensão total;
- extensão ponderada da degradação ( $E_w$ ), expressa em percentagem - obtida do somatório da razão entre a degradação ponderada de cada grupo de componentes (vedantes, caixilho e mecanismos) e as suas dimensões totais.

É de salientar que a metodologia de Gaspar (2009), expressa a degradação física de um componente através de um índice numérico global, a severidade de degradação normalizada. Este índice numérico baseia-se na avaliação da degradação observada através de inspecções visuais realizadas *in situ*, aos componentes analisados. Este método apresenta algumas limitações, uma vez que a degradação dos elementos construtivos é analisada apenas com recurso a inspecções visuais, não permitindo assim contemplar alguns parâmetros que poderiam ser relevantes para a análise da evolução da degradação das caixilharias ao longo do tempo. Seguidamente, são descritos em pormenor os vários parâmetros utilizados e os diversos elementos necessários à sua correcta definição.

#### 4.4.1.1 Degradação ponderada ( $L_w$ )

O cálculo da degradação ponderada permite a distinção entre elementos com a mesma extensão de degradação, mas com níveis de degradação diferentes (Gaspar, 2009). A ponderação é obtida através da multiplicação de um factor correspondente ao nível de degradação da anomalia em causa (Tabela 4.1).

**Tabela 4.1 - Factor multiplicativo a aplicar para cada nível de degradação**

Nível de degradação	Factor multiplicativo
Nível 0	0
Nível 1	1
Nível 2	2
Nível 3	3
Nível 4	4

A degradação ponderada é então obtida através da expressão (4.1), em que  $L_w$  é o somatório ponderado da extensão do componente da caixilharia afectado pelas anomalias detectadas, em cm, nos vedantes e caixilho, ou em n.º de unidades, nas ferragens;  $L_n$  representa a dimensão do componente da caixilharia afectado pela anomalia  $n$ , em cm ou n.º de unidades; e  $k_n$  é a constante de ponderação da anomalia  $n$ , em função do seu nível de degradação ( $k$  varia entre 0 e 4 - Tabela 4.1).

$$L_w = \sum(L_n \times k_n) \quad (4.1)$$

No presente trabalho, são considerados três grupos de anomalias distintos, pelo que da equação (4.1) resultam os seguintes parâmetros:

- degradação ponderada dos vedantes  $L_{w,v}$ , expresso em cm;
- degradação ponderada do revestimento e caixilho  $L_{w,c}$ , expresso em cm;
- degradação ponderada das ferragens  $L_{w,f}$ , expresso em número de unidades.

Através da análise da equação, para uma caixilharia com um total de 100 cm de vedantes, dos quais

10 cm apresentam anomalias de nível 1, 50 cm anomalias de nível 2 e 5 cm anomalias de nível 3, obtém-se uma extensão da degradação ponderada dos vedantes de 125 cm. Assim, é possível verificar que este índice pode tomar valores acima das dimensões totais do elemento, tornando difícil a sua interpretação, pelo facto de não ser fácil estabelecer um limite superior.

A sobreposição de áreas degradadas entre grupos de anomalias é possível, apesar de não ser intuitiva inicialmente, visto que os grupos de anomalias considerados são referentes a elementos distintos da caixilharia. Porém, através do índice da extensão da degradação ( $E$ ), é possível obter a contribuição dos vários grupos de anomalias para a degradação total da caixilharia.

A existência de sobreposição dentro do mesmo grupo de anomalias é possível, como é observado na Figura 4.2. A sobreposição de anomalias do mesmo grupo é um fenómeno importante, sobretudo nas caixilharias de madeira, dentro do grupo de anomalias correspondentes ao revestimento e material do caixilho, no qual a degradação do revestimento facilmente leva à degradação da madeira, sobrepondo as duas anomalias, ambas com níveis de degradação elevados. A sobreposição das anomalias conduz a valores elevados dos máximos teóricos dos índices, desajustados da realidade observada. Assim, nos casos de sobreposição entre anomalias do mesmo grupo, apenas é contabilizada a anomalia mais severa, ou seja, com maior nível de degradação. Estas considerações são analisadas em maior detalhe no ponto 4.4.1.3.



**Figura 4.2 - Sobreposição dentro do grupo de anomalias, no revestimento e no material do caixilho: fissuração e alteração da cor do revestimento (à esquerda); destacamento do revestimento e envelhecimento da madeira (à direita)**

#### 4.4.1.2 Extensão da degradação ( $E$ )

A extensão da degradação é calculada através do somatório das relações entre as dimensões do elemento da caixilharia degradada pela dimensão total do elemento, como é apresentado na expressão (4.2). O valor da extensão da degradação é usualmente expresso em percentagem.

$$E = \frac{L_n}{L_{T,n}} = \frac{L_v}{L_{T,v}} + \frac{L_c}{L_{T,c}} + \frac{L_f}{L_{T,f}} \quad (4.2)$$

O factor  $L_n$  representa a dimensão do componente da caixilharia afectado pela anomalia  $n$ ;  $L_{T,n}$  é a dimensão total do grupo de anomalia  $n$ ;  $L_{T,v}$  é a dimensão total dos vedantes, expressa em cm;  $L_{T,c}$  é a dimensão total do caixilho, em cm;  $L_{T,f}$  é o número de ferragens presentes na caixilharia;  $L_v$  é a dimensão de vedantes afectada por anomalias, em cm;  $L_c$  é a dimensão de caixilho afectado por anomalias, em cm;  $L_f$  é o número de ferragens afectadas por anomalias.

Quando existem simultaneamente anomalias nos vedantes, revestimento e caixilho e ferragens, é possível obter valores superiores a 100% da extensão da degradação. No limite, uma caixilharia em que os seus três grupos de anomalias se encontrem integralmente degradados, o valor da extensão da degradação toma o valor de 300%.

#### 4.4.1.3 Extensão da degradação ponderada ( $E_w$ )

A extensão da degradação ponderada ( $E_w$ ) traduz a relação entre a degradação ponderada ( $L_w$ ) e a dimensão total do elemento afectado, dada pela equação (4.3), usualmente expresso em %, onde  $L_{w,n}$  representa a degradação ponderada do grupo de anomalia  $n$ ;  $L_{T,n}$ ,  $L_{T,v}$ ,  $L_{T,c}$ ,  $L_{T,f}$ ,  $L_{w,v}$ ,  $L_{w,c}$ ,  $L_{w,f}$  têm os significados descritos.

$$E_w = \frac{L_{w,n}}{L_{T,n}} = \frac{L_{w,v}}{L_{T,v}} + \frac{L_{w,c}}{L_{T,c}} + \frac{L_{w,f}}{L_{T,f}} = \frac{\sum(L_v \times k_n)}{L_{T,v}} + \frac{\sum(L_c \times k_n)}{L_{T,c}} + \frac{\sum(L_f \times k_n)}{L_{T,f}} \quad (4.3)$$

Este indicador é de carácter relativo, tal como exposto por Gaspar (2009), uma vez que o valor de  $E_w$  pode variar entre 0% e o total das dimensões degradadas dos componentes da caixilharia multiplicadas pelos respectivos níveis de degradação de cada anomalia (tal como ilustrado nas Tabelas 4.2 a 4.4).

**Tabela 4.2 - Valor máximo da extensão da degradação ponderada para a ocorrência da situação mais gravosa de anomalias em vedantes**

Anomalias	Nível máximo de degradação	$E_w$ (%)
Acumulação de sujidade	1	100
Alteração da cor / deterioração superficial do vedante [F/A] [A] [PVC]	3	300
Deterioração do revestimento da massa de vidraceiro [M]	4	400
Colonização biológica	4	400
Desprendimento / descontinuidade dos cordões de estanqueidade	4	400
Ausência dos cordões de estanqueidade	4	400
[A] - Aplicável a caixilhari­as de alumínio; [F/A] - Aplicável a caixilhari­as de ferro/aço; [M] - Aplicável a caixilhari­as de madeira; [PVC] - Aplicável a caixilhari­as de PVC (cloreto de polivinilo)	<b>Total</b>	[F/A] [A] [PVC] 1600
		[M] 1700
	<b>Máximo</b>	400

**Tabela 4.3 - Valor máximo da extensão da degradação ponderada para o a ocorrência da situação mais gravosa de anomalias no revestimento e material do caixilho**

Anomalias	Nível máximo de degradação	$E_w$ (%)
Acumulação de sujidade	1	100
Alteração da cor do revestimento	3	300
Fissuração / ponteados do revestimento	3	300
Destacamento/revestimento em falta	3	300
Colonização biológica	4	400
Corrosão do material do caixilho [F/A] [A]	4	400
Ataque de xilófagos [M]	4	400
Ataque de fungos de podridão/bolores [M]	4	400
Envelhecimento do material do caixilho [M] [PVC]	4	400
Deformação do caixilho	4	400
Folgas e / ou frestas	4	400
[A] - Aplicável a caixilhari­as de alumínio; [F/A] - Aplicável a caixilhari­as de ferro/aço; [M] - Aplicável a caixilhari­as de madeira; [PVC] - Aplicável a caixilhari­as de PVC (cloreto de polivinilo)	<b>Total</b>	[F/A] [A] [PVC] 2600
		[M] 3400
	<b>Máximo</b>	400

**Tabela 4.4 - Valor máximo da extensão da degradação ponderada para o a ocorrência da situação mais gravosa de anomalias em ferragens**

Anomalias	Nível máximo de degradação	$E_w$ (%)
Acumulação de sujidade	1	100
Corrosão / degradação dos mecanismos	4	400
Mecanismos em falta / danificados	4	400
<b>Total</b>		900
<b>Máximo</b>		400



Assim sendo, este índice pode ser difícil de comparar, pelo menos, de forma directa, com a realidade observada. No trabalho desenvolvido por Gaspar (2009), o valor de  $E_w$  pode tomar valores iguais a 1200%, algo que também sucede no presente trabalho, ou seja, o valor máximo que a extensão da degradação ponderada ( $E_w$ ) pode atingir é 1200%. Este valor pode ser atingido caso cada grupo de anomalias ocorra na totalidade de cada elemento da caixilharia, ou seja, a degradação total dos vedantes, do caixilho e das ferragens. Caso seja considerada a sobreposição entre anomalias do mesmo grupo, o valor teórico máximo de  $E_w$  é 5100%, para as caixilharias de alumínio, 6000% para as de madeira e 5100% para as de PVC, valores obtidos pela soma das anomalias em vedantes, anomalias no revestimento e material do caixilho e as anomalias em ferragens.

Até agora, considerou-se que todas as anomalias analisadas têm igual importância ou gravidade. Porém, para as caixilharias, por exemplo, não é razoável considerar, por exemplo, que a colonização biológica nos vedantes tenha a mesma gravidade da ausência dos mesmos. De forma a contornar esta questão, é necessário introduzir coeficientes de ponderação entre as diversas anomalias, resultando na distinção do peso relativo entre elas. Assim, a equação (4.3) pode ser complementada com as referidas ponderações relativas de cada grupo de anomalias, obtendo a expressão (4.4). Nesta  $k_{a,n}$  representa o coeficiente de ponderação do peso relativo das anomalias, apresentados na Tabela 4.5, sendo os motivos para a escolha destes valores detalhado em §4.4.1.5, que assume o valor 1 em caso de inexistência de qualquer especificação, sendo que  $k_{a,n} \in R^+$ ;  $L_n, L_v, L_c, L_f, k_n, L_{w,n}, L_{T,n}, L_{T,v}, L_{T,c}, L_{T,f}, L_{w,v}, L_{w,c}, L_{w,f}$  têm os significados descritos.

$$E_{w,p} = \sum \left( \frac{\sum L_n \times k_n \times k_{a,n}}{L_{T,n}} \right) = \frac{\sum (L_v \times k_n \times k_{a,n})}{L_{T,v}} + \frac{\sum (L_c \times k_n \times k_{a,n})}{L_{T,c}} + \frac{\sum (L_f \times k_n \times k_{a,n})}{L_{T,f}} \quad (4.4)$$

**Tabela 4.5 - Coeficientes de ponderação  $k_{a,n}$  adoptados**

Anomalias em vedantes					
Acumulação de sujidade	Alteração da cor / deterioração superficial do vedante	Deterioração do revestimento da massa de vidro-celoso	Colonização biológica	Desprendimento / descontinuidade dos cordões de estanqueidade	Ausência dos cordões de estanqueidade
0,1	0,3	0,5	0,6	1,5	2
Anomalias no revestimento e material do caixilho					
Acumulação de sujidade	Alteração da cor do revestimento	Fissuração / ponteados do revestimento	Destacamento/revestimento em falta	Colonização biológica	Corrosão do material do caixilho
0,1	0,2	0,3	0,5 [F/A] [A] [PVC]	1 [M]	0,4 [F/A] [A] [PVC] 0,6 [M]
Ataque de xilófagos	Ataque de fungos de podridão / bolores	Envelhecimento do material do caixilho	Deformação do caixilho	Folgas e/ou frestas	
1,5	1,5	1 [M] 0,6 [PVC]	0,8	1 [F/A] [A] [PVC] 1,2 [M]	
Anomalias em ferragens					
Acumulação de sujidade	Corrosão / degradação dos mecanismos	Mecanismos em falta / danificados			
0,1	0,3	1			

[A] - Aplicável a caixilharias de alumínio; [F/A] - Aplicável a caixilharias de ferro/aço; [M] - Aplicável a caixilharias de madeira; [PVC] - Aplicável a caixilharias de PVC (cloreto de polivinilo)

#### 4.4.1.4 Severidade da degradação normalizada da fachada ( $S_w$ )

De forma a complementar e tornar o valor da extensão ponderada da degradação mais operativo, Gaspar (2009) propõe o indicador  $S_w$ , que traduz o valor da severidade da degradação de uma fachada,

normalizado em relação a uma área de fachada de referência. Para as caixilharias, a severidade da degradação normalizada da caixilharia ( $S_{w,c}$ ) é apresentada na expressão (4.5), em que  $k_{máx,v}$  é a constante que toma o valor igual ao nível mais elevado de degradação dos vedantes;  $k_{máx,c}$  é a constante que toma o valor igual ao nível mais elevado de degradação do revestimento e material do caixilho;  $k_{máx,f}$  é a constante que toma o valor igual ao nível mais elevado de degradação das ferragens;  $k_{máx}$  é o somatório das constantes de ponderação iguais ao nível de condição mais elevada da degradação de uma caixilharia, tomando o valor de 12 (4+4+4 - anomalias em vedantes, no revestimento e material do caixilho e em ferragens, respectivamente);  $k_{a,n}$ ,  $E_{w,p}$ ,  $L_n$ ,  $L_v$ ,  $L_c$ ,  $L_f$ ,  $K_n$ ,  $L_{w,n}$ ,  $L_{T,n}$ ,  $L_{T,v}$ ,  $L_{T,c}$ ,  $L_{T,f}$ ,  $L_{w,v}$ ,  $L_{w,c}$ ,  $L_{w,f}$  têm os significados descritos. Assim, o valor de  $S_{w,c}$ , para  $k_{a,n}=1$ , toma valores entre 0 e 100%, à semelhança de Gaspar (2009). No caso de  $k_{a,n}$  tomar os valores seguidamente referidos, o valor máximo teórico que  $S_{w,c}$  pode atingir é 150% nas caixilharias de madeira e aproximadamente 133% nas caixilharias de ferro / aço, alumínio e PVC, dado que é considerada a sobreposição entre anomalias de diferentes grupos.

$$S_{w,c} = \frac{\sum(L_v \times k_n \times k_{a,n})}{L_{T,v} \times k_{máx,v}} + \frac{\sum(L_c \times k_n \times k_{a,n})}{L_{T,c} \times k_{máx,c}} + \frac{\sum(L_f \times k_n \times k_{a,n})}{L_{T,f} \times k_{máx,f}} = \frac{E_{w,p}}{k_{máx}} \quad (4.5)$$

#### 4.4.1.5 Ponderação relativa entre anomalias ( $k_{a,n}$ )

Como referido, o objectivo da introdução do coeficiente  $k_{a,n}$  é fazer a distinção da importância de diferentes anomalias. Gaspar (2009) testou dois cenários: o C1, no qual todas as anomalias tomam igual peso ( $k_{a,n} = 1$ ); no C2, atribuiu coeficientes de ponderação consoante a gravidade da anomalia. Com o segundo cenário, o autor obteve valores mais aproximados da realidade, ou seja, valores que reflectiam de uma forma mais adequada a realidade observada durante as inspecções às fachadas.

Nos trabalhos de Chai *et al.* (2014), Silva *et al.* (2014) e Serralheiro *et al.* (2017), é feita uma análise que engloba os custos de reparação e também a gravidade relativa das anomalias. A relevância ou gravidade de uma anomalia é influenciada por diversos factores, como a forma como afectam o cumprimento das exigências mínimas do elemento, a sua propensão para originar novas anomalias ou a velocidade de propagação de anomalias existentes ou ainda o seu custo de reparação, visto este poder influenciar a vida útil da caixilharia. Na Tabela 4.5, são apresentados os coeficientes de ponderação entre anomalias,  $k_{a,n}$ , que foram adoptados, sendo seguidamente justificados. Os custos de reparação foram determinados com base nos valores propostos por Vicente (2012), obtidos para uma janela tipo; para validação e actualização dos mesmos, foram contactadas algumas empresas e utilizado um simulador de preços. Ainda assim, a avaliação dos custos de uma determinada intervenção sobre a caixilharia pode ser de difícil análise, pois o tipo de reparação implementada varia entre proprietários. A título de exemplo, para a colonização biológica nos vedantes, uma solução a curto prazo seria uma limpeza simples, mas tal não representa uma eliminação definitiva, sendo a utilização de um biocida uma alternativa mais razoável, mas que representa um processo mais moroso e custos adicionais.

##### 4.4.1.5.1 Anomalias em vedantes

A acumulação de sujidade é um fenómeno não evolutivo e com pouco impacte na degradação dos vedantes, estando a sua ocorrência ligada à manutenção (relativamente frequente) aplicada pelo utilizador. Devido ao baixo impacte no desempenho dos vedantes e a sua remoção ser feita com recurso a uma simples acção de limpeza, o valor do coeficiente de ponderação atribuído é de 0,1.

A alteração da cor / deterioração superficial do vedante é uma anomalia superficial que indica o início do processo de degradação do componente. O fenómeno de alteração da cor é indicador da alteração química do vedante, o que significa que não existe uma solução simples de reparação que não envolva a substituição do vedante, com custos associados que rondam 30€ por janela (Vicente (2012)). Contudo, devido à baixa influência desta anomalia no desempenho da caixilharia, raramente são substituídos vedantes com o intuito da reparação singular desta anomalia. Por este motivo, o valor adoptado é 0,3. Nas caixilharias de madeira, a deterioração do revestimento da massa de vidraceiro representa um perigo acrescido para a evolução da degradação; sem o revestimento, a massa de vidraceiro encontra-se exposta aos agentes climatéricos, aumentando o risco de estagnação de água sobre a mesma. No entanto, a reparação desta anomalia passa pela repintura das superfícies, solução menos dispendiosa que a substituição dos vedantes. A aplicação de uma tinta de reparação tem associado um custo que ronda 10 a 15€ por janela (Vicente, 2012). Por representar uma maior influência na degradação da caixilharia, apesar do menor custo de reparação, o valor adoptado para o coeficiente de ponderação para esta anomalia é 0,5.

Na colonização biológica, como referido, existem diferentes abordagens à sua reparação. Assim sendo, é considerado que, para o seu tratamento, deve ser feita uma limpeza do vedante acompanhada da utilização de biocida. Mesmo com recurso a biocidas, a colonização biológica não é facilmente eliminada, podendo voltar a reaparecer, pelo que se atribui um coeficiente de ponderação de 0,6.

O desprendimento / descontinuidade e a ausência dos cordões de estanqueidade são as anomalias que representam uma degradação elevada, colocando em causa o desempenho da caixilharia. A reparação passa pela substituição dos vedantes ou massa de vidraceiro. Nas borrachas de EPDM, usualmente utilizadas nas caixilharias de alumínio e PVC, o custo da sua substituição depende da geometria do caixilho, podendo ser de substituição simples ou com necessidade de desmontagem do caixilho. O valor adoptado para o coeficiente de ponderação é 1,5 para o desprendimento / descontinuidade dos cordões de estanqueidade e 2 para a ausência dos cordões de estanqueidade, reflectindo assim a maior severidade e custo de reparação destas anomalias.

#### **4.4.1.5.2 Anomalias no revestimento e material do caixilho**

Como acontece nos vedantes, a acumulação de sujidade não é uma anomalia com grande relevância na degradação do caixilho. A limpeza geral ronda 1,5€ por janela (Vicente, 2012). Devido ao baixo impacte desta anomalia e ao baixo custo de reparação, é assumido um coeficiente de ponderação de 0,1.

A alteração da cor do revestimento e a fissuração / ponteados do revestimento são anomalias superficiais, não colocando em risco a integridade do caixilho. A sua reparação passa por uma repintura do caixilho, mas esta intervenção é usualmente evitada devido aos custos associados, sendo os revestimentos por anodização e lacagem processos difíceis de replicar depois da aplicação da caixilharia no vão. Assim, são usualmente utilizadas tintas de reparação; como referido, os custos de aplicação destas podem variar entre 10 e 15€ por janela, consoante o produto utilizado e o tipo de caixilharia a intervencionar. Devido à reduzida influência destas anomalias no desempenho global do caixilho, é adoptado o valor de 0,2 para a alteração da cor do revestimento e, devido à maior degradação associada à fissuração / ponteados do revestimento, a esta anomalia é atribuído um coeficiente de ponderação igual a 0,3. O destacamento /

revestimento em falta representa uma anomalia grave do revestimento, em especial nas caixilharias de madeira, visto tratar-se de um material mais vulnerável à degradação pelos agentes atmosféricos. Por este motivo, considera-se um coeficiente de ponderação igual a 1, para caixilharias em madeira, e igual a 0,5 para o ferro / aço, alumínio e PVC.

A colonização biológica do caixilho, tal como acontece nos vedantes, é uma anomalia de difícil tratamento definitivo, sendo especialmente influente na degradação da madeira, visto esta apresentar uma maior susceptibilidade a agentes biológicos. Assim, é adoptado um coeficiente de ponderação de 0,4 para o ferro / aço, alumínio e PVC, e 0,6 para a madeira.

A corrosão do material do caixilho é uma anomalia específica das caixilharias de ferro / aço e alumínio e, tal como o nome indica, é uma anomalia intrínseca do caixilho. A reparação de zonas afectadas por corrosão envolve várias etapas, ou seja, é algo moroso e apenas é recomendada caso as zonas afectadas sejam de pequena dimensão (Vicente, 2012). O coeficiente de ponderação atribuído é de 0,6.

O ataque de xilófagos ou de fungos de podridão / bolores corresponde a anomalias muito gravosas numa caixilharia de madeira. O tratamento destas anomalias passa pela remoção das áreas afectadas, recorrendo à execução de próteses ou substituição do elemento afectado. Estes processos são dispendiosos, uma vez que a execução de uma prótese para uma caixilharia de madeira ronda 30€, e a substituição do elemento é um processo demorado, podendo ser mesmo impraticável nas travessas ou montantes, sendo preferível a remoção da totalidade da folha móvel (Vicente, 2012). Mesmo nos casos em que o tratamento é possível, a avaliação das causas e da integridade da madeira, que aparentemente não está afectada, não é uma tarefa fácil, não sendo garantido que a intervenção seja uma solução definitiva. Por estas razões, o valor atribuído a estas anomalias é de 1,5.

O envelhecimento do material do caixilho ocorre em caixilharias de madeira e PVC, e corresponde a uma deterioração do material do caixilho, sendo de importância comparável à corrosão, nas caixilharias de ferro / aço e alumínio. Esta anomalia é sobretudo identificada em caixilharias de madeira, sendo raro observar-se este fenómeno em caixilharias de PVC, o que pode ser explicado pelo facto de, na amostra analisada, as caixilharias de PVC serem mais recentes (e conseqüentemente, apresentarem menor degradação) e possuírem revestimentos mais duráveis. A reparação desta anomalia, na madeira, passa pelo tratamento da zona afectada e aplicação de uma repintura. O valor atribuído à anomalia do envelhecimento do material do caixilho é de 0,6 para caixilharias de PVC e 1 para caixilharias de madeira, reflectindo assim a importância da anomalia na degradação do caixilho e a maior influência sobre as caixilharias em madeira.

A deformação do caixilho pode reflectir um alto nível de degradação do caixilho, conforme a extensão e o elemento afectado. A reparação da deformação é um processo complicado, sendo bastante moroso para elementos de madeira; nos elementos em alumínio, é aconselhado a substituição do elemento, sendo ainda pouco eficaz na reparação de mossas (Vicente, 2012). Devido ao impacte elevado que pode ter no desempenho do caixilho e a dificuldade de reparação dos elementos, é adoptado o valor de 0,8.

As folgas e/ou frestas correspondem a anomalias que afectam directamente a estanqueidade do sistema, sendo por isso associadas a elevados níveis de degradação. A reparação de folgas exige usualmente inter-

venção no caixilho que, como descrito, pode revelar-se um trabalho moroso. Assim, o valor para o coeficiente de ponderação associado a esta anomalia é de 1 para caixilharias de ferro / aço, alumínio e PVC, e de 1,2 para caixilharias de madeira, visto que esta apresenta maior susceptibilidade aos fenómenos de degradação, após a estanqueidade do sistema estar comprometida.

#### 4.4.1.5.3 Anomalias em ferragens

O coeficiente de ponderação da anomalia de acumulação de sujidade volta a tomar o valor de 0,1, pelos motivos referidos nos outros grupos de anomalias.

A corrosão / degradação dos mecanismos é uma anomalia que, caso apresente grande extensão, pode afectar a operacionalidade da caixilharia. Neste sentido, o tipo de reparação a implementar depende da extensão da degradação, sendo, em casos de elevada corrosão, aconselhada a substituição do mecanismo. O custo para a substituição das ferragens de uma caixilharia varia entre 7 e 50€, dependendo dos tipos de mecanismos utilizados, sendo preferível a substituição por peças similares (Vicente, 2012). Devido à necessidade de existir uma grande extensão da anomalia para originar problemas de operacionalidade, é atribuído o valor de 0,3 ao coeficiente de degradação ponderado.

Para mecanismos em falta / danificados, é evidente a perda de operacionalidade do sistema, assim como a supressão das características de segurança da caixilharia. A solução para corrigir esta anomalia é a substituição do elemento. Devido à grande importância inerente à operacionalidade da caixilharia, o coeficiente de ponderação atribuído é de 1.

#### 4.4.1.6 Relação entre severidade e nível de degradação

Após a definição dos indicadores de degradação e dos coeficientes de ponderação, é necessário fazer a correspondência entre os patamares de degradação e a severidade da degradação da caixilharia, sendo que o fim da vida útil da caixilharia corresponde ao nível 3 de degradação. A correspondência é baseada no modelo de Gaspar (2009), apresentada na Tabela 4.6, com a devida adaptação às caixilharias. Assim, caixilharias que apresentem uma severidade da degradação superior a 20% atingiram o fim da sua vida útil.

**Tabela 4.6 - Correspondência entre os indicadores de degradação**

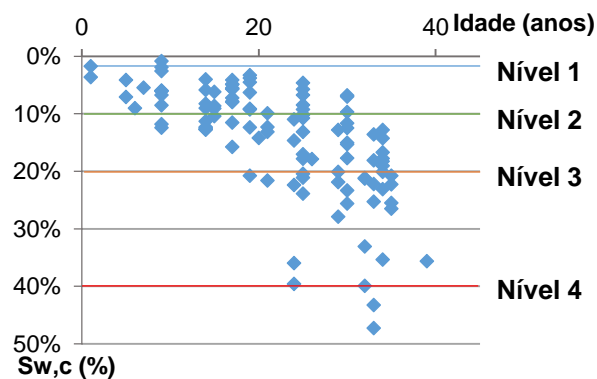
Patamar de degradação	$S_{w,c}$
Nível 0	$S_{w,c} \leq 1\%$
Nível 1	$1\% < S_{w,c} \leq 10\%$
Nível 2	$10\% < S_{w,c} \leq 20\%$
Nível 3	$20\% < S_{w,c} \leq 40\%$
Nível 4	$S_{w,c} > 40\%$

A título de exemplo, nas Figuras 4.3 e 4.4, é apresentada a distribuição da severidade de degradação das caixilharias de alumínio, sendo que a primeira corresponde ao cálculo da severidade da degradação, sem ponderação entre as anomalias, e a segunda, por oposição, corresponde ao cálculo da severidade considerando a ponderação entre as anomalias, proposta na Tabela 4.5. Através da sua análise, constata-se que, no primeiro caso, sem ponderação, existe uma maior dispersão da amostra, assim como valores mais elevados da severidade de degradação. Este facto deve-se à existência de uma elevada quantidade de anomalias superficiais nos vedantes e revestimentos em todas as fases da vida das caixilharias, que não são especialmente condicionantes, por si só, para estabelecer o fim da vida útil. Como é possível verificar, após a aplicação dos coeficientes de ponderação entre anomalias, existe uma redução evidente dos níveis de degradação, sendo o total de caixilharias que atingiram o fim de

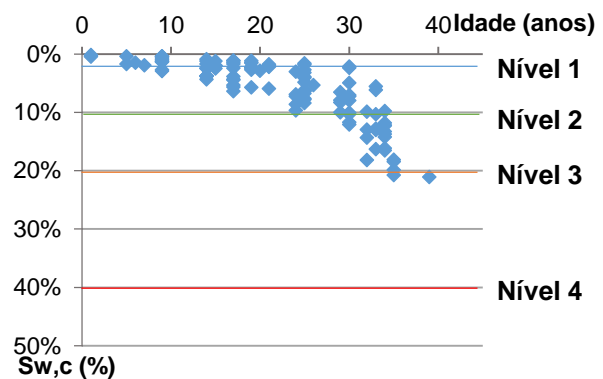
vida útil (severidade de degradação superior a 20%) muito inferior, reflectindo de uma forma mais aproximada a realidade observada durante o trabalho de campo.

Na Tabela 4.7, apresenta-se exemplos da diferença obtida nos parâmetros de degradação, pela implementação dos coeficientes de ponderação entre anomalias.

Como é possível observar, o valor da severidade de degradação tem uma maior aproximação em relação à realidade analisada durante o trabalho de campo, quando são considerados os coeficientes de ponderação entre anomalias. No Anexo D, apresenta-se a caracterização do estado de degradação das caixilharias inspeccionadas.





**Figura 4.3 - Distribuição da severidade de degradação, sem ponderação entre anomalias (amostra de caixilharias de alumínio)**



**Figura 4.4 - Distribuição da severidade de degradação, com ponderação entre anomalias (amostra de caixilharias de alumínio)**

**Tabela 4.7 - Exemplos da diferença obtida nos parâmetros de degradação devido à ponderação entre anomalias**

Caixilharia inspeccionada	% de elemento afectado	Sem ponderação		Com ponderação	
		E <sub>w</sub> (%)	S <sub>w</sub> (%)	E <sub>w</sub> (%)	S (%)
	6% de acumulação de sujidade nos vedantes 14% de alteração da cor do vedante 2% de colonização biológica do vedante 12% de desprendimento dos vedantes 13% de acumulação de sujidade no caixilho 50% de corrosão dos mecanismos	267	22% Nível 3	124	10% Nível 2
	22% de acumulação de sujidade nos vedantes 33% de degradação superficial dos vedantes 21% de acumulação de sujidade no caixilho 58% de alteração da cor do revestimento 50% de corrosão dos mecanismos	431	36% Nível 3	104	9% Nível 1

#### 4.5 Curvas de degradação

Neste subcapítulo, são apresentadas as curvas de degradação obtidas a partir da amostra recolhida durante o trabalho de campo. Em primeiro lugar, é avaliada a vida útil média para os três materiais analisados, sendo associado à curva de degradação apresentada um exemplo de uma caixilharia perto do fim de vida útil ( $S_{w,c}=20\%$ ). Seguidamente, é analisada a influência de diversos factores recolhidos durante o trabalho de

campo, na degradação das caixilharias de alumínio e madeira, visto serem estas que contêm uma amostra de maior dimensão e estatisticamente representativa. Por fim, é avaliada a extensão da degradação segundo os diferentes grupos de anomalias, ou seja, segundo os diferentes componentes da caixilharia. A elaboração dos modelos de previsão de vida útil tem por base as informações recolhidas durante o trabalho de campo, cuja realização se baseia em inspeções visuais. Assim, por mais rigorosa que seja a recolha de dados, os resultados obtidos têm inevitavelmente uma componente subjectiva associada.

#### 4.5.1 Vida útil média para caixilharias

Asif *et al.* (2002), num estudo realizado no Reino Unido com o apoio de 22 autoridades locais, obtiveram os valores de vida útil estimada para as caixilharias apresentados na Tabela 4.8. Este trabalho teve como objectivo principal o estudo do ciclo de vida dos materiais das caixilharias, mais especificamente o seu custo energético. Os valores de vida útil estimada resultaram de um questionário, no qual os utilizadores transmitem as suas apreciações sobre o tempo de vida útil das caixilharias e as acções de manutenção necessárias para o seu bom funcionamento. Por contraste com as caixilharias de alumínio, as de madeira são as que carecem de acções de intervenção mais regulares, o que implica que alguns dos seus componentes possam ser reparados ou substituídos ao longo do tempo, podendo causar uma majoração do tempo de vida útil estimada. Assim, os valores apresentados são referentes às condições de utilização e manutenção aconselháveis, servindo por isso como uma referência geral. Estes valores reflectem assim uma análise mais empírica e sensorial do desempenho das caixilharias, em função dos níveis de exigência dos inquiridos, não reflectindo da forma mais adequada os critérios técnicos e de degradação física das caixilharias, nem a realidade observada durante o trabalho de campo da presente dissertação.

**Tabela 4.8 - Vida útil estimada em função do tipo de caixilharia (adaptado de Asif *et al.*, 2002)**

Tipo de material	Vida útil estimada (anos)		
	Média	Mediana	Interquartil
Alumínio	43,6	40	12,5
PVC	24,1	22,5	15
Madeira	39,6	35	16,3
Madeira lamelada	46,7	45	10

Costmodeling Ltd., uma empresa com base no Reino Unido, aponta valores para a vida útil expectável de vários componentes da construção; na Tabela 4.9, é possível visualizar um excerto dos resultados, referente às caixilharias. O manual HAPM (*Housing Association Property Mutual Ltd.*) (1999), inicialmente concebido para a definição de apólices de seguro, atribuí às caixilharias de alumínio e madeira uma vida útil de 35 anos, quando aplicada uma manutenção regular e adequada.

**Tabela 4.9 - Vida útil expectável para caixilharias (adaptado de Costmodeling, 2009)**

Tipo de material	Vida útil expectável (anos)
Alumínio	44
PVC	37
Madeira	36
Madeira lamelada	50

Nas caixilharias de alumínio, são de destacar os estudos, seguidamente descritos, devido à maior atenção dada aos diversos factores que podem afectar a vida útil da caixilharia. Costa (2013) apresenta uma estimativa da durabilidade das caixilharias de alumínio, por meio da definição e cálculo de um coeficiente de degradação, tendo sido obtida uma estimativa de durabilidade de 43 anos. No trabalho

de Re Cecconi *et al.* (2017), é aplicado o método factorial para a determinação do tempo de serviço de caixilharias de alumínio. Foi obtido um período de vida útil de 42 anos para uma caixilharia num edifício residencial, num ambiente padrão, com atenção à compatibilidade entre materiais, instalada por técnicos especializados e com manutenção apropriada. Na mesma caixilharia, mas sem a consideração da compatibilidade entre materiais, instalada por mão-de-obra pouco qualificada e baixa frequência de manutenção, é obtido um período de vida útil de 30 anos.

No trabalho de Kempton *et al.* (2002), foram avaliadas as razões para a variabilidade dos resultados obtidos nos estudos de determinação de vida útil. Foi apresentada uma tabela na qual são comparadas diferentes previsões para diversos elementos da construção, entre elas as caixilharias de madeira (Tabela 4.10). As entidades referidas são: o manual HAMP, já referido; o guia do BSI (*British Standards Institute*), para a durabilidade dos componentes da construção, de 1992; os ciclos de manutenção e expectativa de vida útil de componentes da construção da NBA (*National Building Agency*, London) de 1985; e por fim, a vida útil de componentes da construção desenvolvido por uma HA (*Housing Association*), que tem como objectivo prever futuras necessidades de reparação e os seus custos no mercado da habitação.

**Tabela 4.10 - Vida útil expectável para caixilharias de madeira (adaptado de Kempton *et al.*, 2002)**

Tipo de material	Vida útil expectável (anos)			
	Manual HAMP	BSI	NBA	HA
Madeira	35	40	50	25

Ellingham *et al.* (2014) estudam também a variabilidade da vida útil expectável nos elementos da construção. São aí apontadas possíveis razões para a discrepância entre os valores de vida útil expectável. Nas caixilharias de madeira, os valores mínimos de vida útil obtidos variam entre 11 e 15 anos, e resultam da má instalação do componente, falta de acções de manutenção ou reparação, condições de exposição fora do normal e vandalismo; os valores mais elevados podem reflectir a capacidade de exemplares do século 19, alvo de cuidadas acções de manutenção e reparação, de sobreviverem durante longos períodos de tempo. Assim, como seria de esperar, foi concluído que uma análise do desempenho do componente ao longo do tempo não deve basear-se em nenhum dos extremos, sob o risco de não serem representativos da realidade observado na generalidade dos componentes.

Na Tabela 4.11, é apresentado um resumo das idades de fim de vida útil para as caixilharias através da bibliografia consultada.

**Tabela 4.11 - Vida útil expectável para caixilharias**

Tipo de material	Vida útil expectável (anos)
Alumínio	30 a 44
PVC	24,1 a 37
Madeira	25 a 50
Madeira lamelada	46,7 a 50

#### 4.5.1.1 Caixilharias de alumínio

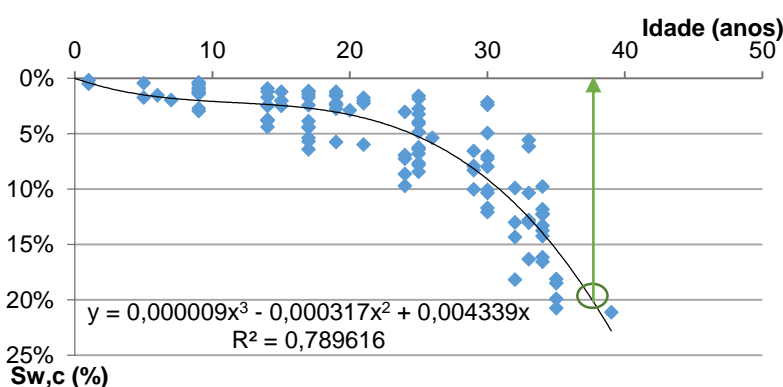
Na Figura 4.5, pode-se observar a curva de degradação para a amostra de alumínio. A curva é obtida com recurso a uma análise de regressão, onde se ajusta um polinómio de grau 3 aos pontos correspondentes à amostra estudada. A curva de degradação tem uma forma em “S”, reflectindo uma fase inicial, em que existe uma perda de desempenho acentuada, usualmente composta por anomalias superficiais,



seguido por um período em que a evolução da degradação aparenta estabilizar, e por fim, uma fase de degradação acelerada, na qual existe uma intensificação e sinergia das acções de degradação.

O valor do coeficiente de correlação ( $R^2$ ) obtido é de aproximadamente 0,79. Este coeficiente corresponde ao quadrado do coeficiente de correlação do produto de Peterson, que permite avaliar a previsão da variável dependente, e o grau com que se ajusta à realidade observada (Nagelkerke, 1991). Este coeficiente pode variar entre 0 (correlação nula) e 1 (correlação perfeita), onde o valor obtido, 0,79, revela uma forte correlação entre a curva e a amostra analisada. Assim, conclui-se que 79% da severidade de degradação das caixilharias de alumínio é explicada pela idade da mesma e os restantes 21% devem-se a outros factores.

O valor obtido para o fim de vida útil ( $S_{w,c}=20\%$ ) das caixilharias de alumínio é de aproximadamente 38 anos de idade. Quando comparado com os valores observados na bibliografia descrita, na qual é definida um intervalo de valores entre 30 e 44 anos, conclui-se que o valor obtido está de acordo com o esperado.



**Figura 4.5 - Curva de degradação para a amostra de alumínio**

Na Figura 4.6, são apresentadas fotos de uma caixilharia de alumínio inspeccionada com valor de índice de severidade próximo do fim de vida útil, nomeadamente  $S_{w,c}=20,7\%$ , sendo de destacar a elevada degradação pontual dos vedantes e a degradação dos mecanismos.



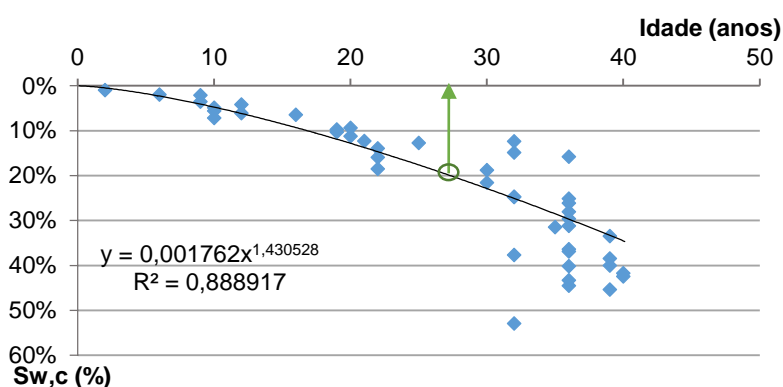
**Figura 4.6 - Pormenores da caixilharia de alumínio próxima do fim de vida útil**

#### 4.5.1.2 Caixilharias de madeira

Foi analisado um total de 45 caixilharias de madeira, a partir das quais foi traçada a curva de degradação observada na Figura 4.7. Esta tem uma forma convexa, tratando-se especificamente de uma curva potencial. Este tipo de padrão está associado a fenómenos de degradação inicialmente lentos, mas cujos efeitos são cumulativos. O padrão de degradação reflecte as observações feitas no capítulo anterior, em que, por a madeira ser um material com maior susceptibilidade aos agentes de degradação, a deterioração do revestimento e da massa de vidraceiro rapidamente influencia o desempenho geral da caixilharia. O  $R^2$  obtido é de aproximadamente 0,89, ou seja, existe uma correlação elevada entre a curva e amostra analisada. O valor de vida útil obtido para as caixilharias de madeira é de aproximadamente 28 anos. Em

comparação com os valores indicados pela bibliografia (25 a 50 anos), a idade obtida encontra-se perto do limite inferior, o que seria de esperar, uma vez que as caixilharias inspeccionadas não foram alvo de reparações ou intervenções regulares. É ainda de referir que não foi tido em conta o tipo de madeira aplicada na caixilharia, uma vez que a caracterização das caixilharias é realizada apenas com recurso a inspeções visuais. No entanto, esta característica tem um impacto significativo na degradação deste tipo de caixilharias, uma vez que diferentes tipos de madeira apresentarem maior predisposição para anomalias como o ataque de xilófagos ou a variação geométrica.

Na Figura 4.8, é possível observar os pormenores de uma caixilharia com um  $S_{w,c}$  de aproximadamente 21,5%, sendo de destacar, como anomalias mais severas, a ausência de massa de vidraceiro no aro inferior da folha móvel, onde existe maior acumulação de água da chuva, o envelhecimento da madeira também no aro inferior e a existência de folgas entre o aro móvel e fixo.



**Figura 4.7 - Curva de degradação para a amostra de madeira**



**Figura 4.8 - Pormenores da caixilharia de madeira próxima do fim de vida útil**

É ainda de destacar um ponto de interesse no gráfico, a caixilharia com 32 anos de idade e aproximadamente 52,9% de severidade de degradação, apresentando uma degradação muito superior à restante amostra. Esta caixilharia encontra-se orientada a Oeste e, pelos dados fornecidos pelo utilizador, existe uma baixa utilização dos dispositivos de sombreamento, não tendo sido alvo de intervenções após a sua instalação. Como é visível na Figura 4.9, a caixilharia apresenta uma severa degradação da massa de vidraceiro, tendo sido utilizada fita adesiva como forma de prevenir a queda dos vidros. Esta caixilharia reflecte a elevada degradação de uma caixilharia de madeira, quando apresenta uma elevada exposição aos factores de degradação, reflectindo o que poderia ser um limite inferior para o fim de vida útil.

#### 4.5.1.3 Caixilharias de PVC

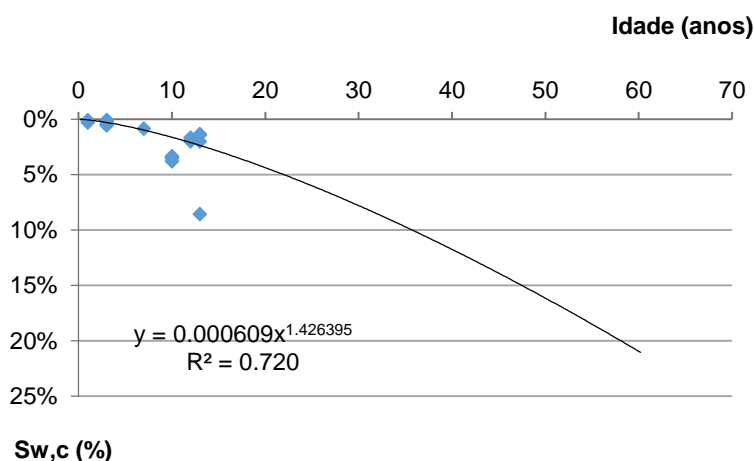
A amostra de PVC é composta por 25 caixilharias, na gama de idades entre 1 e 13 anos. O reduzido número de dados, deve-se à relativamente recente aplicação deste tipo de caixilharia em Portugal, não

tendo sido possível analisar casos de estudo com idades mais elevadas. A gama de idades da amostra dificulta uma estimativa razoável para a vida útil destas caixilharias. Na Figura 4.10, é possível observar a curva de degradação para a amostra de caixilharias de PVC.



**Figura 4.9 - Caixilharia de madeira com um valor muito elevado de degradação**

A gama de idades da amostra dificulta uma estimativa razoável para a vida útil destas caixilharias. Na Figura 4.10, é possível observar a curva de degradação para a amostra de caixilharias de PVC. A degradação observada nestas caixilharias é relativamente inferior às de alumínio e madeira, para a gama de idades entre 1 e 13 anos. Foi obtido um valor de  $R^2$  de 0,72, para uma curva convexa (potencial), porém, como referido, a inexistência de amostras com idades superiores a 13 anos limita severamente a fiabilidade do estudo da evolução da degradação das caixilharias de PVC. Os resultados obtidos devem, por isso, ser analisados com algum cuidado. Para a curva traçada, é obtida uma estimativa de vida útil de aproximadamente 58 anos.



**Figura 4.10 - Curva de degradação para a amostra de PVC**

#### 4.5.2 Influência dos factores de degradação relativos aos hábitos do utilizador

Neste subcapítulo, é analisada a influência dos hábitos dos utilizadores na degradação das caixilharias de alumínio e madeira, pois são as que apresentam uma amostra suficientemente representativa para que tal avaliação seja viável.

##### 4.5.2.1 Condições de uso dos dispositivos de sombreamento

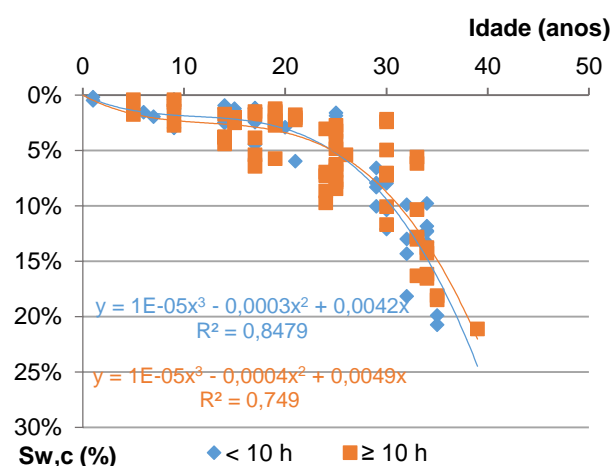
A utilização dos dispositivos de sombreamento permite a protecção das caixilharias dos agentes climáticos, em troca da perda de entrada da luz solar para o interior da habitação, razão pela qual são especialmente utilizados durante a noite e as estações de maior calor. A amostra foi dividida segundo caixilharias cujos dispositivos de sombreamento são utilizados durante 10 ou mais horas e menos de 10 horas diárias.

Na Figura 4.11, é possível observar as curvas de degradação obtidas para a amostra de alumínio,

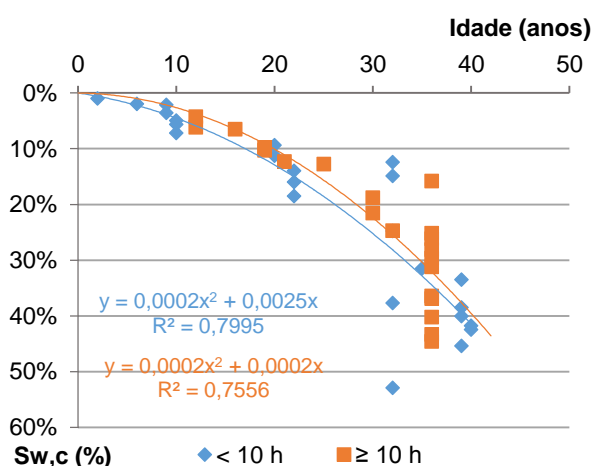
tendo sido obtido um coeficiente de determinação de aproximadamente 0,75 para as caixilharias com maior tempo de protecção ( $\geq 10$  h); para o número de horas de protecção inferior a 10 h, foi obtido um coeficiente de determinação superior ( $R^2 \approx 0,85$ ). Como seria de esperar, nas caixilharias com um maior número de horas de protecção, obtém-se um valor superior de vida útil. Nas caixilharias de madeira (Figura 4.12), observa-se um cenário idêntico, onde as caixilharias mais protegidas apresentam maior durabilidade. Foram obtidos coeficientes de determinação similares, em comparação com as caixilharias de alumínio, nomeadamente  $R^2 \approx 0,76$  para caixilharias com mais de 10 h de protecção e  $R^2 \approx 0,80$  para caixilharias com menos de 10 h de protecção diária.

#### 4.5.2.2 Acções de limpeza superficial

Para a análise da influência das acções de manutenção na degradação das caixilharias de alumínio e de madeira, foram consideradas as acções de limpeza da caixilharia. A amostra foi dividida segundo caixilharias que são alvo de acções de manutenção com uma frequência semanal (ou a manutenção ainda mais frequente), e superior à frequência semanal.

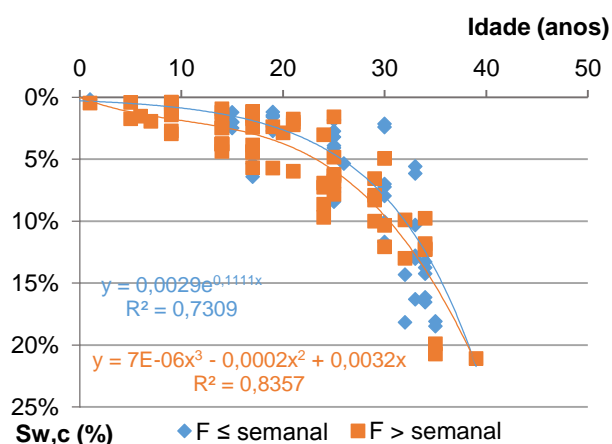


**Figura 4.11 - Curva de degradação segundo o número de horas com dispositivos de sombreamento (amostra de alumínio)**

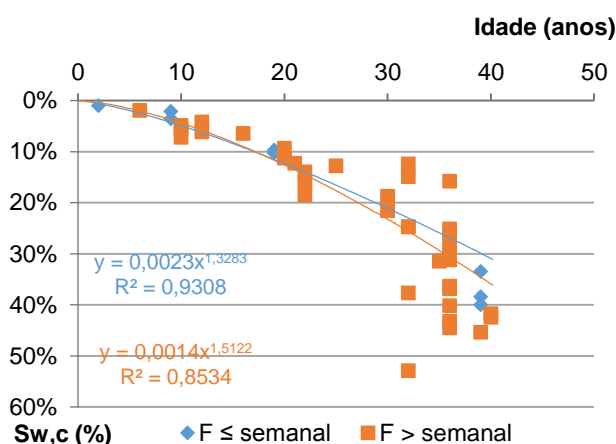


**Figura 4.12 - Curva de degradação segundo o número de horas com dispositivos de sombreamento (amostra de madeira)**

Na Figura 4.13, observa-se a distribuição da amostra de alumínio segundo as acções de manutenção. Foram obtidos os coeficientes de determinação com os valores de 0,84 e 0,73, para manutenções com intervalos superiores à semana e igual ou inferior à semana, respectivamente. Apesar de a curva das acções de manutenção menos regulares ( $>$  semana) apresentar uma degradação inicialmente mais acelerada, o que era esperado, as duas curvas acabam por convergir. Uma possível explicação para tal é a falta de dados de caixilharias com acções de manutenção semanal entre 1 e 17 anos, e com mais de 35 anos, que influencia a curva com melhor ajuste aos pontos; outra explicação pode ser que as acções de limpeza não têm impacto significativo na degradação das caixilharias de alumínio a longo prazo ( $>$  30 anos). Para as caixilharias de madeira (Figura 4.14), foram obtidos coeficientes de determinação de 0,85 e 0,93, para manutenções com intervalos superiores à semana e igual ou inferior à semana, respectivamente. No entanto, para as caixilharias com uma manutenção semanal, a curva é traçada com base em apenas 8 pontos, o que coloca em causa a fiabilidade dos resultados obtidos. Como seria de esperar, as caixilharias de madeira com uma manutenção mais regular apresentam uma maior durabilidade.



**Figura 4.13 - Curva de degradação segundo a frequência das acções de limpeza implementadas (amostra de alumínio)**



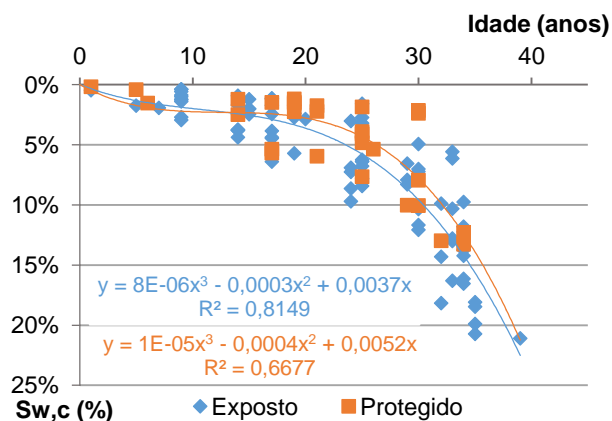
**Figura 4.14 - Curva de degradação segundo a frequência das acções de limpeza implementadas (amostra de madeira)**

### 4.5.3 Influência dos factores de degradação relativos à zona envolvente

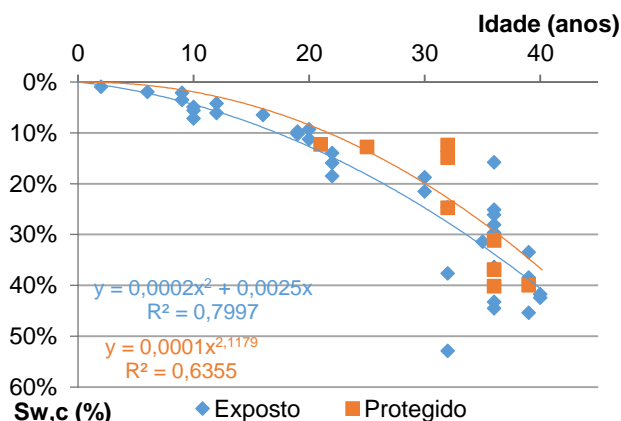
Seguidamente, é analisada a influência das condicionantes relativas à exposição e zona em que as caixilharias se inserem, nomeadamente o tipo de exposição do vão, a orientação da caixilharia e o tipo de envolvente.

#### 4.5.3.1 Exposição do vão

Nas condições de exposição do vão, como descrito no capítulo anterior, o vão é classificado como exposto ou protegido, onde no segundo caso a caixilharia pode beneficiar de uma maior protecção contra as acções do vento e exposição à radiação solar, sendo os parâmetros definidos no Anexo A.III. Para as caixilharias de alumínio (Figura 4.15), foi obtido um bom coeficiente de determinação ( $R^2 \approx 0,81$ ) para as caixilharias classificadas como expostas; no entanto, nas caixilharias protegidas, o valor do coeficiente de determinação é considerado no limite do aceitável para que se possa retirar conclusões fiáveis. Algo similar acontece nas caixilharias de madeira (Figura 4.16), onde para as caixilharias expostas se obtém um bom valor de coeficiente de determinação ( $R^2 \approx 0,80$ ) e, nas caixilharias protegidas, um  $R^2$  inferior ao desejável; porém, neste caso tal valor pode ser explicado pela falta de amostras com idades inferiores a 21 anos. Apesar das circunstâncias descritas, é de notar que as caixilharias classificadas como expostas atingem o fim de vida útil mais rapidamente, o que era esperado.



**Figura 4.15 - Curva de degradação segundo a exposição do vão (amostra de alumínio)**



**Figura 4.16 - Curva de degradação segundo a exposição do vão (amostra de madeira)**



### 4.5.3.2 Orientação da caixilharia

Segundo Gaspar (2009), em Portugal, as orientações Norte e Oeste são as que apresentam maior exposição às acções do vento e chuva e, por isso, humidade. Por outro lado, as caixilharias orientadas a Sul encontram-se expostas a uma maior quantidade de radiação solar, propiciando um maior gradiente térmico.

Na Figura 4.17, apresenta-se a curva de degradação das caixilharias de alumínio segundo as quatro orientações principais. A orientação com melhor coeficiente de determinação é a orientação a Norte ( $R^2 \approx 0,87$ ), que corresponde à orientação com maior rapidez de degradação das caixilharias. As restantes orientações apresentam idades de fim de vida útil similares, o que sugere que a degradação das caixilharias de alumínio é mais influenciada pela humidade do que pela exposição solar. Para as caixilharias de madeira (Figura 4.18), são obtidos elevados coeficientes de determinação; porém, a curva de orientação a Norte é obtida com base apenas em 4 pontos, não permitindo por isso obter conclusões inequívocas. As caixilharias orientadas a Oeste e Sul são as que atingem primeiro o fim de vida útil. Assim, pode ser sugerido que as caixilharias de madeira são afectadas negativamente por elevados gradientes térmicos e pela presença de humidade, o que está de acordo com a avaliação dos factores de degradação das caixilharias de madeira efectuado por de Brito *et al.* (2006).

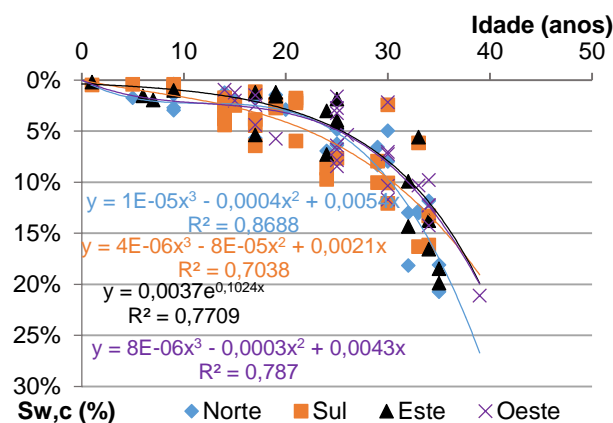


Figura 4.17 - Curva de degradação segundo a orientação da caixilharia (amostra de alumínio)

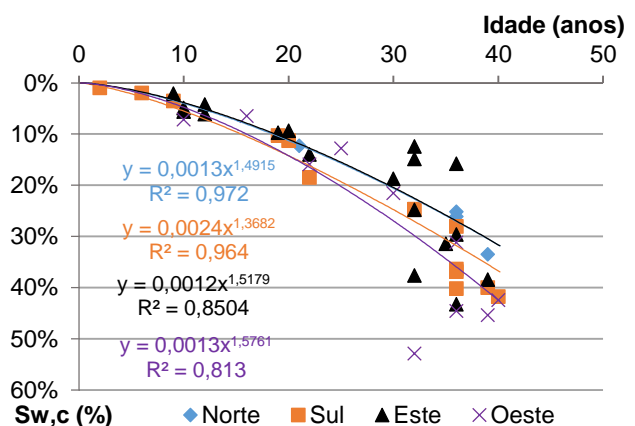
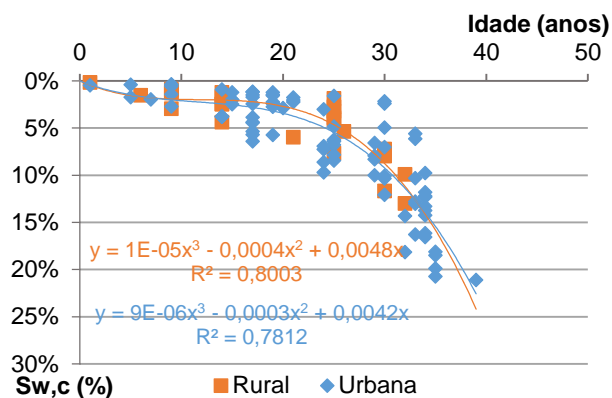


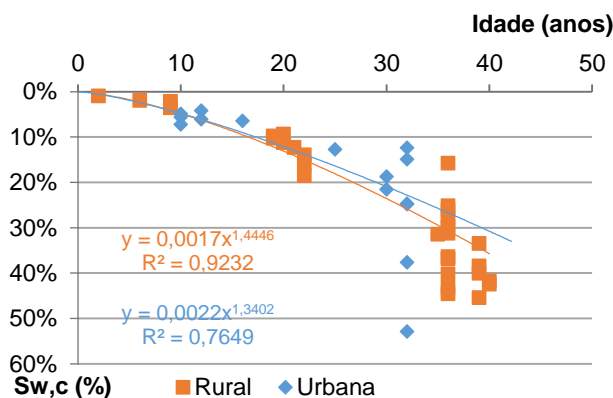
Figura 4.18 - Curva de degradação segundo a orientação da caixilharia (amostra de madeira)

### 4.5.3.3 Tipo de envolvente

De forma a analisar a influência do tipo de envolvente na degradação das caixilharias, são apresentadas, nas Figuras 4.19 e 4.20, as curvas de degradação correspondentes às caixilharias em alumínio e madeira, respectivamente. Para as caixilharias de alumínio, obteve-se bons valores do coeficiente de determinação para as envolventes rurais ( $R^2 \approx 0,80$ ) e urbana ( $R^2 \approx 0,78$ ), assim como valores muito semelhantes para o fim de vida útil. Nas caixilharias de madeira, é obtido um valor do coeficiente de determinação elevado para as caixilharias na envolvente rural ( $R^2 \approx 0,92$ ); para a envolvente urbana, é obtido um coeficiente de determinação de aproximadamente 0,76. As caixilharias na envolvente rural aparentam sofrer uma degradação mais acelerada do que as na envolvente urbana; porém, os dados referentes à envolvente urbana estão sobretudo concentrados entre 12 e 16, e 25 e 32 anos de idade, pelo que os resultados devem ser interpretados com prudência.



**Figura 4.19 - Curva de degradação segundo o tipo de envolvente (amostra de alumínio)**

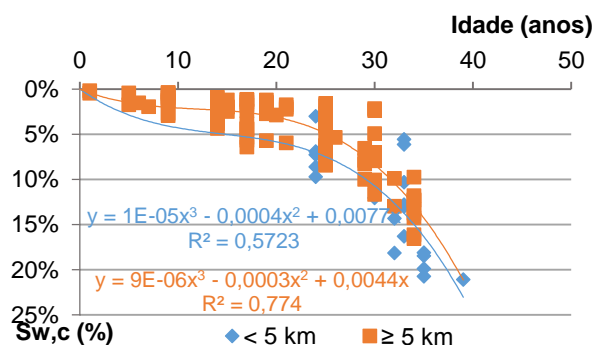


**Figura 4.20 - Curva de degradação segundo o tipo de envolvente (amostra de madeira)**

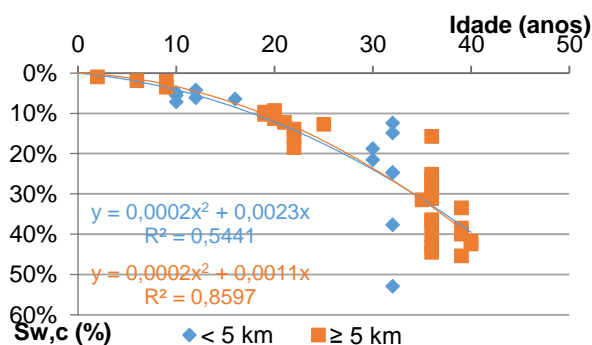
#### 4.5.3.4 Proximidade do mar

Para avaliar a influência da proximidade do mar na degradação das caixilharias, são considerados dois intervalos, amostras situadas a uma distância superior a 5 km ou inferior a 5 km do mar. Nas Figuras 4.21 e 4.22, são apresentadas as curvas de degradação correspondentes às caixilharias de alumínio e madeira, respectivamente.

No caso das caixilharias de alumínio, é obtido um valor de coeficiente de determinação de 0,77 para casos a mais de 5 km do mar e de 0,57 para os casos a distâncias inferiores a 5 km. Este baixo valor de correlação pode dever-se ao reduzido número de casos de estudo a menos de 5 km do mar com idades inferiores a 25 anos. Através da análise das curvas, as caixilharias a menos de 5 km do mar apresentam uma degradação mais acelerada, o que está de acordo com o observado na análise segundo as diferentes orientações, em que as caixilharias orientadas a Norte (maior humidade), também apresentam uma mais rápida degradação. Para as caixilharias de madeira, foram obtidos valores de coeficiente de determinação de 0,86 e 0,54 para os casos a mais de 5 km e menos de 5 km do mar, respectivamente. É de notar que a amostra de caixilharias de madeira a menos de 5 km do mar é reduzida e encontra-se concentrada entre os 10 e 16, e 30 e 32 anos de idade, sendo difícil extrair conclusões fiáveis sobre esta característica.



**Figura 4.21 - Curva de degradação segundo a proximidade do mar (amostra de alumínio)**

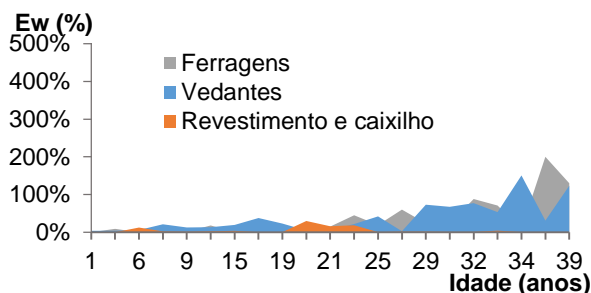


**Figura 4.22 - Curva de degradação segundo a proximidade do mar (amostra de madeira)**

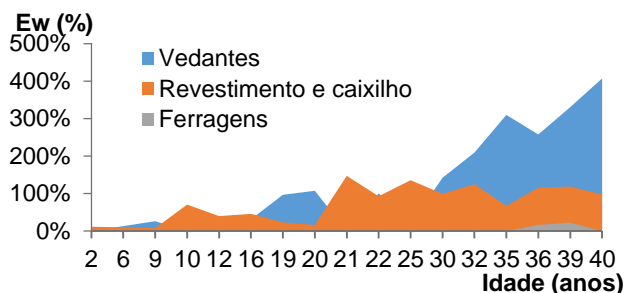
#### 4.5.4 Análise da extensão da degradação

De forma a perceber o papel de cada grupo de anomalia, ou componente do caixilho, na evolução da degradação da caixilharia, é utilizado o índice da extensão da degradação ponderada, com ponderação

entre diferentes anomalias, como descrito em §4.4.1.3. Na Figura 4.23, é possível observar a extensão de degradação ponderada para a amostra de alumínio, sendo os elementos das caixilharias com maior importância na degradação as ferragens e os vedantes. Nas caixilharias de madeira (Figura 4.24), o revestimento e material do caixilho em conjunto com os vedantes, são os componentes que apresentam uma maior extensão de degradação. A importância dos vedantes na degradação das caixilharias, em especial nas caixilharias de madeira (massa de vidraceiro), está de acordo com o descrito por Albano (2005), pois é o elemento das caixilharias com tempo recomendado até à sua substituição mais baixo, entre 10 e 15 anos após instalação.



**Figura 4.23 - Extensão da degradação ponderada segundo os diferentes grupos de anomalias (amostra de alumínio)**



**Figura 4.24 - Extensão da degradação ponderada segundo os diferentes grupos de anomalias (amostra de madeira)**

#### 4.5.5 Síntese dos resultados

É apresentada, na Tabela 4.12, a síntese dos diversos valores de vida útil obtidos no decorrer deste subcapítulo, segundo as diversas características analisadas, para as caixilharias de alumínio e madeira. Importa lembrar que os valores obtidos podem, de algum modo, ter sido condicionados pela natureza subjectiva do trabalho de campo, devendo a sua interpretação ser feita com cautela.

Através da análise da Tabela 4.12, para as caixilharias de alumínio, a combinação de condições mais favoráveis para o aumento da vida útil é a utilização de dispositivos de sombreamento durante pelo menos 10 horas por dia, uma frequência de manutenção semanal, colocação num vão protegido, com orientação a Sul e numa envolvente rural. A orientação a Norte é a característica que resulta numa vida útil mais curta para as caixilharias de alumínio. Para as caixilharias de madeira, os factores mais favoráveis são semelhantes, com a diferença de a orientação mais favorável ser a Este e a envolvente mais favorável ser a urbana. A característica mais desfavorável, para as caixilharias de madeira, é a orientação a Oeste.

Como descrito no Capítulo 3, durante o trabalho de campo, para cada caixilharia inspeccionada foi realizada uma avaliação visual qualitativa do estado global de degradação da caixilharia antes da inspecção em si, permitindo confrontar esta apreciação com o estado real da caixilharia, obtido através da aplicação do modelo proposto. Nas Figuras 4.25 e 4.26, são apresentados os resultados de tal análise para as caixilharias de alumínio e madeira, respectivamente. Nestes gráficos, o eixo vertical apresenta o nível de degradação das caixilharias, obtido através da correspondência entre o valor do  $S_{w,c}$  e o nível de degradação, e o eixo horizontal apresenta o estado de degradação global atribuído à caixilharia antes da realização da inspecção. O número adjacente a cada ponto no gráfico representa o número de caixilharias que se insere nessa posição.



**Tabela 4.12 - Valores de fim de vida útil para caixilharias de alumínio e madeira, segundo as diferentes características analisadas no presente capítulo**

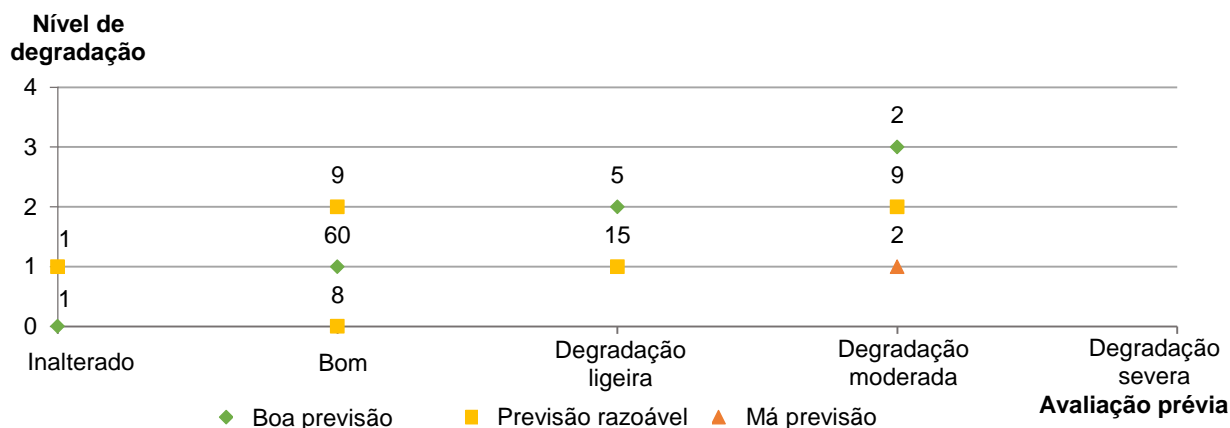
Tipo de material	Característica	Fim de vida útil (anos)	Variação na vida útil média (%)	R <sup>2</sup>	
Alumínio	Vida útil média	37,6	0	0,79	
	N.º de horas com dispositivos de sombreamento (24 h)	<10h	36,9	-1,86	0,85
		≥10h	38,0	1,06	0,75
	Frequência das acções de limpeza	≤ Semanal	38,2	1,60	0,73
		> Semanal	38,1	1,33	0,84
	Exposição do vão	Exposto	37,6	0	0,81
		Protegido	38,4	2,13	0,67
	Orientação	Norte	36,2	-3,72	0,87
		Sul	39,7	5,59	0,70
		Este	39,0	3,72	0,77
		Oeste	39,0	3,72	0,79
	Tipo de envolvente	Rural	37,1	-1,33	0,80
		Urbana	37,7	0,27	0,78
	Proximidade do mar	<5 km*	37,3	-0,80	0,57
≥5 km		38,4	2,13	0,77	
Madeira	Vida útil média	27,3	0	0,89	
	N.º de horas com dispositivos de sombreamento (24 h)	<10h	26,1	-4,40	0,80
		≥10h	28,3	3,66	0,76
	Frequência das acções de limpeza	≤ Semanal	28,8	5,49	0,93
		> Semanal	27,2	-0,37	0,85
	Exposição do vão	Exposto	26,3	-3,66	0,80
		Protegido*	30,7	12,45	0,64
	Orientação	Norte*	29,4	7,65	0,97
		Sul	25,7	-5,86	0,96
		Este	29,6	8,42	0,85
		Oeste	24,8	-9,16	0,81
	Tipo de envolvente	Rural	26,8	-1,83	0,92
		Urbana*	29,0	6,23	0,76
	Proximidade do mar	<5 km*	27,0	-1,10	0,54
≥5 km		27,4	0,37	0,86	

\*A curva de degradação associada à característica não dispõe de um número, ou distribuição de pontos, aconselhado ou o coeficiente de correlação é inferior ao admissível.

Característica desfavorável em relação ao tempo de vida útil média	Característica favorável em relação ao tempo de vida útil média
--	---

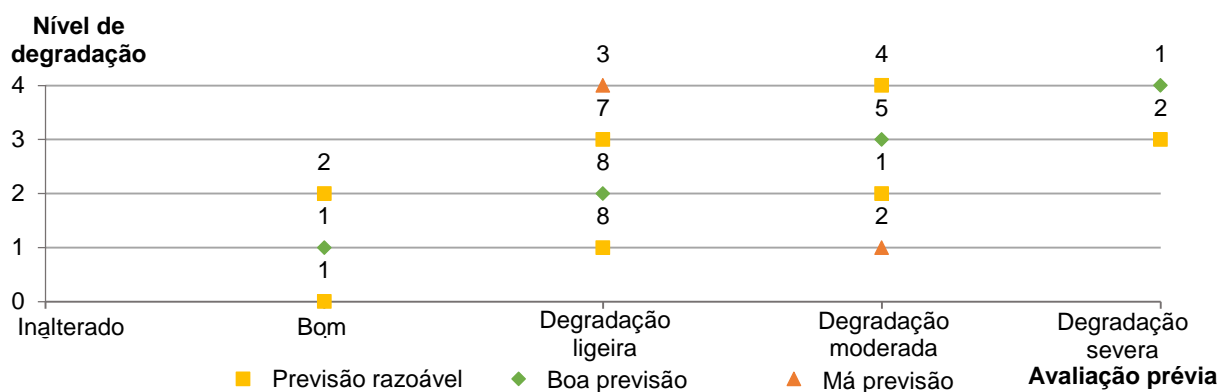
Através da análise dos valores apresentados na Figura 4.25, é possível verificar que aproximadamente 61% da amostra obteve um nível de degradação de acordo com a avaliação prévia, ou seja, no caso das caixilharias de alumínio, foi obtida uma previsão razoável do nível de degradação das caixilharias. Quando as caixilharias apresentam um bom estado de conservação (Nível 1), o inspector consegue classificar correctamente cerca de 78% das caixilharias analisadas. No entanto, para níveis de degradação das caixilharias mais elevados, a percepção do inspector tende a afastar-se dos valores quantificados através do índice de severidade da degradação. No caso de degradação ligeira (Nível 2), o inspector tende a subestimar o nível de degradação observado.

Os valores com uma previsão da degradação superior ao obtido, podem ser explicados pelo maior número de anomalias superficiais nas caixilharias de madeira que afectam negativamente o aspecto da caixilharia, apesar de não representarem directamente um valor elevado de degradação da caixilharia. Os valores de previsão inferiores ao obtido pelo modelo de degradação podem ser resultado de anomalias que são difíceis de identificar numa rápida avaliação da caixilharia, como são exemplo as folgas e frestas, que têm um grande impacto na estanqueidade do sistema, outro exemplo, são as anomalias que afectam a operacionalidade da caixilharia, que são quase impossíveis de identificar sem uma inspecção detalhada.



**Figura 4.25 - Correspondência entre a avaliação prévia da degradação das caixilharias e o nível de degradação obtido (amostra de alumínio)**

No caso das caixilharias de madeira (Figura 4.26), apenas aproximadamente 33% das avaliações prévias correspondem à degradação obtida após a aplicação do modelo.



**Figura 4.26 - Correspondência entre a avaliação prévia da degradação das caixilharias e o nível de degradação obtido (amostra de madeira)**

#### 4.6 Conclusão

No presente capítulo, apresentou-se uma metodologia para a estimativa da vida útil de caixilharias, baseado no modelo proposto por Gaspar (2009), que forneceu resultados aceitáveis para a degradação das caixilharias em relação à idade apresentada. O modelo baseia-se na definição de indicadores de degradação, com base nos dados recolhidos durante o trabalho de campo. Através do indicador da severidade da degradação, que tem em conta os níveis de degradação definidos no Capítulo 3 e os coeficientes de ponderação entre anomalias, é possível traçar as curvas de degradação, as quais descrevem a evolução da degradação das caixilharias ao longo do tempo. Foi analisado um total de 182 caixilharias, sendo a maioria da amostra (112 casos de estudo) composta por caixilharias de alumínio, a qual pode ser considerada estatisticamente representativa; nas caixilharias de madeira, apesar do inferior número de dados (45 casos de estudo), foram obtidos bons valores de coeficientes de correlação, sendo que a amostra deve ser aumentada em trabalhos futuros. Para a amostra das caixilharias de PVC, é indispensável o acréscimo da amostra em trabalhos futuros, devendo os resultados apresentados ser considerados apenas como um estudo introdutório.

## **5. Conclusões e desenvolvimentos futuros**

### **5.1 Considerações finais**

O presente trabalho insere-se no âmbito da vida útil das construções, com o objectivo de desenvolver uma metodologia para a estimativa de vida útil de caixilharias. Para tal, é utilizado o método desenvolvido por Gaspar (2009), que se baseia em inspecções visuais a realizar em trabalho de campo. O método utilizado no presente trabalho permite a avaliação dos factores de degradação da caixilharia, sendo possível observar a sua evolução ao longo do tempo sob a forma de gráficos de degradação. A determinação da vida útil dos componentes da construção permite uma melhor avaliação dos custos globais das construções, através da comparação entre diferentes soluções técnicas e da determinação dos períodos ideais para operações de intervenção. O presente capítulo tem como objectivo apresentar um resumo dos principais resultados e conclusões obtidas no decorrer do trabalho, sendo ainda propostos trabalhos e desenvolvimentos futuros com o intuito de melhorar a metodologia proposta.

### **5.2 Conclusões gerais**

A realização da presente dissertação pode ser dividida em três fases distintas, seguidamente descritas:

- numa primeira fase, é realizado um enquadramento ao tema proposto, sendo apresentada uma análise breve dos conceitos relativos à vida útil das construções, uma descrição dos diferentes tipos e componentes das caixilharias, assim como das anomalias que os afectam, sendo identificados três grandes grupos de componentes. É apresentado o contexto normativo, a nível nacional e internacional, correspondente aos requerimentos de desempenho impostos às caixilharias, com o intuito de auxiliar a definição do fim de vida útil;
- na segunda fase, é apresentada a metodologia de recolha de dados, que permite sistematizar a informação recolhida sobre as caixilharias. À semelhança de Gaspar (2009), procura-se atingir um equilíbrio entre o rigor da informação recolhida e a complexidade e tempo despendido, sendo proposto um sistema de recolha de informação que os tenta conciliar. Para tal, é utilizada uma ficha de inspecção, de forma a organizar a informação recolhida. Esta contém as variáveis de campo necessárias à definição do nível global de degradação das caixilharias e à análise da sua degradação segundo os diversos factores de degradação considerados. As anomalias identificadas foram classificadas segundo os grupos descritos na primeira fase, correspondentes ao componente afectado, nomeadamente, anomalias em vedantes, anomalias no revestimento e material do caixilho e anomalias em ferragens;
- na última fase, é desenvolvida a metodologia de previsão de vida útil de caixilharias e a sua aplicação à amostra recolhida. A metodologia proposta é baseada no trabalho de Gaspar (2009), em que os dados recolhidos em campo, nomeadamente a extensão das anomalias identificadas, são convertidos em indicadores numéricos, com significado físico e capazes de traduzir a degradação dos elementos ao longo do tempo. No presente trabalho, a análise cuidada de todos os 189 casos inspeccionados inicialmente, conduziu à exclusão de 7 casos por apresentarem um comportamento anómalo, no que diz respeito à evolução natural da degradação das caixilharias, sendo os casos descritos em detalhe no Capítulo 3. A utilização do modelo de Gaspar (2009), levou à definição de coeficientes de ponderação entre anomalias,

que foram calibrados de forma a traduzir a degradação real das caixilharias inspeccionadas.

A partir do modelo de degradação de Gaspar (2009), foram definidas curvas de degradação para as caixilharias de alumínio, madeira e PVC, que relacionam a deterioração das mesmas com a sua idade, através das diversas anomalias presentes. A curva de degradação geral, para cada um dos três materiais analisados, apresenta um valor de coeficiente de determinação razoável (Tabela 5.1), o que demonstra que o modelo aplicado traduz de forma adequada a degradação das caixilharias inspeccionadas. No entanto, no caso das caixilharias de PVC, existe um défice claro de amostras com idades superiores a 13 anos, o que compromete a validade do modelo para idades superiores a esse valor, algo que é discutido no Capítulo 4. A vida útil estimada (VUE), segundo as características de cada caixilharia inspeccionada durante o trabalho de campo, é apresentada nas Figuras 5.1 e 5.2, para as caixilharias de alumínio e madeira, respectivamente. A determinação da vida útil das caixilharias, pelas suas diferentes características, permite um melhor planeamento das necessidades de manutenção, identificando as possíveis necessidades de reparação e os materiais mais vulneráveis. Numa primeira abordagem ao método factorial, foram definidos os respectivos factores de ajustamento, sendo estabelecida uma relação entre a vida útil estimada e a vida útil média (VUM), apresentada na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1 - Valor do coeficiente de determinação e vida útil média obtida para cada material analisado**

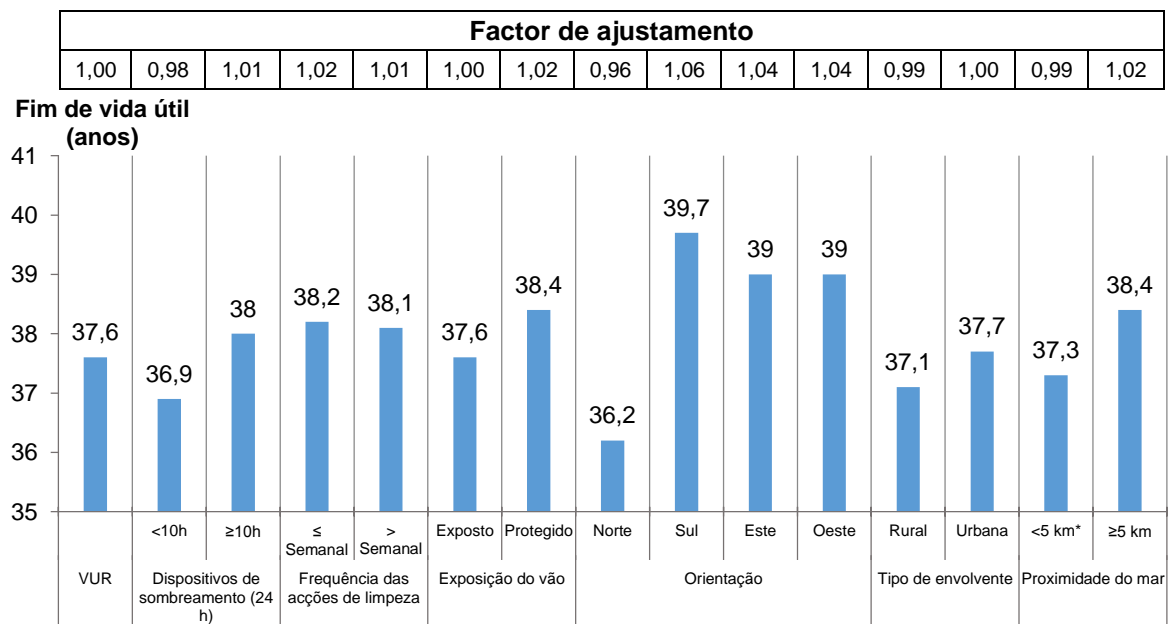
Material da caixilharia	R <sup>2</sup>	VUM
Alumínio	0,79	37,6
Madeira	0,89	27,3
PVC	0,72	Não conclusivo

Para as caixilharias de alumínio, como é possível observar na Figura 5.1, obteve-se as seguintes conclusões principais:

- as amostras que se encontram protegidas por dispositivos de sombreamento durante mais de 10 h diárias têm uma vida esperada de 38 anos e as com menos de 10 h têm, como seria de esperar, uma vida estimada inferior, de 36,9 anos, por estarem mais tempo expostas aos factores de degradação;
- no caso da frequência das acções limpeza, é de notar que a vida útil estimada é similar entre caixilharias cuja frequência é inferior ou superior à semanal, o que, como descrito no Capítulo 4, pode indicar que as acções de limpeza nas caixilharias de alumínio têm um efeito pouco significativo para níveis de degradação elevados;
- as caixilharias consideradas protegidas, segundo a característica de exposição do vão, apresentam um tempo de vida esperado de 38,4 anos, superior às caixilharias classificadas como expostas, que apresentam um tempo de vida esperada de 37,6 anos;
- no que respeita às diferentes orientações, as caixilharias de alumínio orientadas a Norte apresentam o tempo de vida útil mais baixo, 36,2 anos, seguido pelas orientações a Este e Oeste com 39 anos e, por fim, a orientação a Sul com 39,7 anos; estes resultados sugerem que as caixilharias de alumínio são mais susceptíveis à humidade, devido à orientação a Norte se tratar de um quadrante com elevada exposição à humidade e à acção da chuva-vento;
- as caixilharias que se inserem numa envolvente urbana apresentam um tempo de vida útil estimado de 37,7 anos, ligeiramente superior às que se inserem numa envolvente rural, que apresentam um

tempo de vida estimada de 37,1 anos, porém, como referido no Capítulo 4, a análise desta característica é difícil devido à proximidade entre as curvas de degradação obtidas;

- apesar de as caixilharias com uma distância inferior a 5 km do mar não apresentarem curvas de degradação estatisticamente relevantes, por existir um défice de amostras com idades inferiores a 25 anos e com uma distância inferior a 5 km do mar, os resultados obtidos revelam que as caixilharias a menos de 5 km do mar se degradam mais rapidamente do que as situadas a mais de 5 km do mar, o que reforça os resultados obtidos segundo as diferentes orientações, ou seja, os componentes das caixilharias de alumínio são influenciados negativamente pela presença de humidade.



\*A curva de degradação associada à característica não dispõe de um número, ou distribuição de pontos, aconselhado ou o coeficiente de correlação é inferior ao admissível.

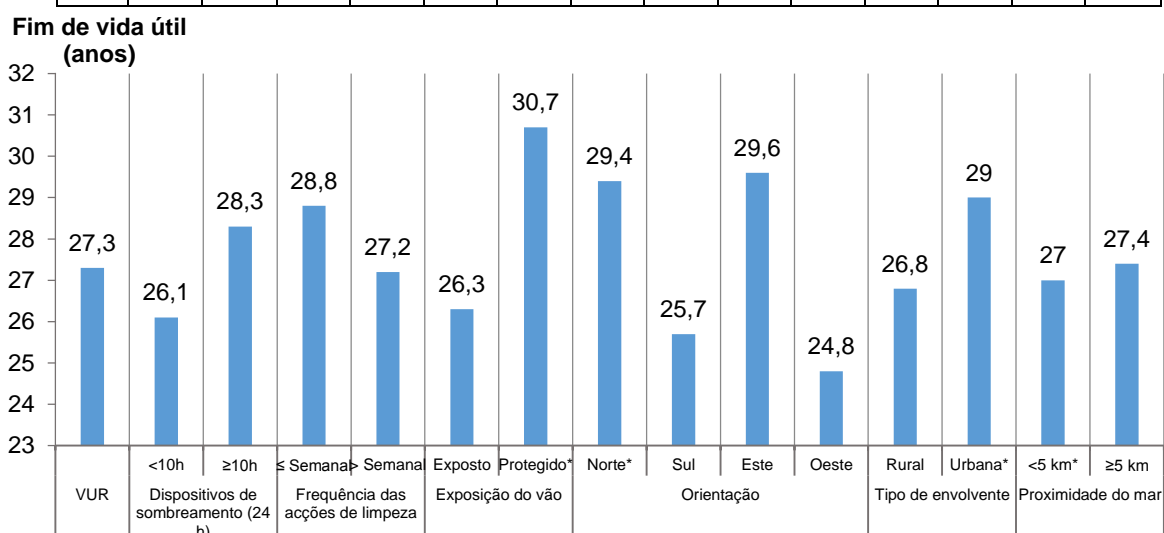
**Figura 5.1 - Vida útil estimada e respectivos factores de ajustamento, de acordo com as características da caixilharia (amostra de alumínio)**

No caso das caixilharias de madeira, é desde já de notar que existe uma maior variação entre os valores de vida útil estimada para as diferentes características, algo que é reflectido nos factores de ajustamento apresentados. Da análise da Figura 5.2, obtém-se as seguintes conclusões:

- as caixilharias de madeira cujos dispositivos de sombreamento, são utilizados durante mais de 10 h diárias apresentam um tempo de vida útil de 28,3 anos, superior às que se encontram desprotegidas durante mais tempo (> 10 h), que têm um tempo de vida estimado de 26,1 anos;
- o tempo de vida útil para caixilharias que são alvo de acções de limpeza com uma frequência semanal é de 28,8 anos, enquanto para as caixilharias com acções de limpeza com uma frequência mais alargada (> semanal), o tempo de vida útil esperado é inferior, 27,2 anos;
- as caixilharias de madeira que se insiram num vão classificado como protegido têm um tempo de vida estimada de 30,7 anos, sendo, no entanto, de referir, que existe um défice de amostras com idades inferiores a 21 anos, o que dificulta o ajuste da curva de degradação; no caso das caixilharias num vão classificado como exposto, a vida útil esperada é relativamente inferior, como seria de esperar, sendo obtido o valor de 26,3 anos;

- as caixilharias de madeira com uma orientação a Oeste são as que apresentam uma degradação mais acelerada, com um tempo de vida útil esperada de 24,8 anos, seguido pela orientação a Sul, com 25,7 anos; para as orientações a Norte e Este, são obtidos valores superiores de vida útil estimada, 29,4 e 29,6 anos, respectivamente. Estes resultados sugerem que as caixilharias de madeira são sobretudo afectadas pelos elevados gradientes térmicos. É ainda de referir, na curva de degradação para caixilharias orientadas a Norte, existe um défice da amostra, pelo que os resultados devem ser interpretados com o devido cuidado;
- para as caixilharias de madeira, a envolvente urbana aparenta ser mais favorável, sendo obtido um tempo de vida útil esperada de 29 anos, enquanto para a envolvente rural o tempo de vida esperado é inferior, 26,8 anos;
- para a característica relativa à proximidade do mar, devido à proximidade das curvas de degradação, como descrito mais detalhadamente no Capítulo 4, é difícil retirar conclusões fiáveis, sendo obtido um valor de vida útil estimada ligeiramente inferior para as caixilharias mais próximas do mar.

Factor de ajustamento														
1,00	0,96	1,04	1,05	1,00	0,96	1,12	1,08	0,94	1,08	0,91	0,98	1,06	0,99	1,00



\*A curva de degradação associada à característica não dispõe de um número, ou distribuição de pontos, aconselhado ou o coeficiente de correlação é inferior ao admissível.

**Figura 5.2 - Vida útil estimada e respectivos factores de ajustamento, de acordo com as características da caixilharia (amostra de madeira)**

### 5.3 Desenvolvimentos futuros

O presente trabalho constitui uma primeira abordagem à previsão da vida útil de caixilharias, sendo por isso expectável que seja possível melhorar a metodologia proposta. Tal pode ser conseguido através da melhoria na recolha da informação durante o trabalho de campo, sendo possível complementar a amostra, alcançando uma maior fiabilidade dos resultados obtidos.

#### 5.3.1 Melhoria da informação recolhida e amostra analisada

De forma a melhorar o tipo de informação recolhida e a amostra a analisar durante a fase de trabalho de campo, propõe-se o seguinte:

- para a amostra de caixilharias de alumínio, aumentar: i) o número de casos a menos de 5 km do mar; ii) e o número de caixilharias que são alvo de acções de limpeza com uma frequência

inferior à semanal;

- no caso das caixilharias de madeira, aumentar: i) o número de casos que se inserem num vão classificado como protegido e com idades inferiores a 21 anos; ii) a amostra de caixilharias de madeira com orientação a Norte; iii) o número de caixilharias que se integram na envolvente rural e urbana de forma a obter uma maior homogeneidade em termos de idades de caixilharias analisadas segundo o tipo de envolvente, algo que também deve ser aplicado na característica que corresponde à proximidade do mar;
- no caso das caixilharias de PVC, é imprescindível o acréscimo da amostra recolhida, sobretudo para idades superiores a 13 anos, algo que é descrito em maior detalhe nos Capítulos 3 e 4.

Como acontece com Gaspar (2009), é benéfica a elaboração de um mapa de degradação das caixilharias, no qual é elaborada uma listagem de informação escrita e fotográfica dos diversos tipos de anomalias, sendo assim possível diminuir a subjectividade das inspecções visuais. Deve também ser incluído um maior número de factores de degradação, como: a espessura e cor do revestimento do caixilho; a geometria e material dos vedantes (e.g. PVC, EPDM, silicone e massa de vidraceiro); o nível de detalhe tido em conta na fase de projecto, por exemplo, através da análise da compatibilidade entre os materiais aplicados; seria também importante perceber a influência da qualificação da mão-de-obra na fase de instalação, em especial, na qualidade de execução dos cordões de estanqueidade entre o vão e o aro fixo.

### **5.3.2 Desenvolvimentos relativos à quantificação da degradação global**

De forma a melhorar os resultados obtidos, propõe-se:

- i. para as caixilharias de madeira, avaliar a influência do tipo de madeira utilizada na sua evolução da degradação;
- ii. a aplicação dos valores do modelo proposto na presente dissertação a uma nova amostra, de forma a verificar a sua validade;
- iii. a análise do custo de ciclo de vida, de acordo com as acções de manutenção e reparação previstas e realizadas, para cada um dos diferentes materiais das caixilharias, segundo a norma ISO 15686-5: 2017, sendo assim possível associar ao tempo de vida útil expectável da caixilharia os seus custos ao longo do tempo, possibilitando, entre outros factores, perceber qual a escolha de material de caixilharias mais economicamente viável;
- iv. a introdução de novos factores de degradação no modelo, como os referidos no subcapítulo anterior, focados sobretudo nas fases prévias e durante a instalação da caixilharia, que podem influenciar fortemente a degradação da mesma e por consequência o seu tempo de vida útil;
- v. a comparação dos níveis de degradação obtidos para as caixilharias com a percepção do grau de degradação observado pelos utilizadores, através de inquéritos aos mesmos, o que permite verificar se o modelo traduz de forma perceptível a degradação da caixilharia;
- vi. devido à complexidade associada à degradação dos diferentes materiais das caixilharias, é vantajosa a consideração do efeito simultâneo de diferentes factores de degradação, através da aplicação de técnicas estatísticas de regressão múltipla não-linear.

### 5.3.3 Método factorial

Através da aplicação do método gráfico, foram obtidos resultados razoáveis, que traduziram de uma forma adequada a degradação observada durante o trabalho de campo. Os resultados obtidos podem ser transpostos para o método factorial, sendo este, como descrito no Capítulo 1, o único aceite a nível internacional (Cecconi e Iacono, 2005; Gaspar, 2009). Assim, para a implementação do método gráfico é necessário (Gaspar, 2009):

- i. definir um tempo de vida útil de referência para as caixilharias, algo abordado no presente trabalho para as caixilharias de alumínio e madeira;
- ii. identificar as variáveis da equação base, tendo em atenção as especificidades do caso em estudo, sendo identificados os factores que traduzem a composição e características do material em causa;
- iii. estabelecer as exigências de desempenho relevantes para o componente a analisar;
- iv. identificar e quantificar os fenómenos de degradação das caixilharias, através de trabalho de campo, realizado no presente trabalho, realização de testes laboratoriais, da recolha da opinião de peritos e de funções de modelação da degradação;
- v. quantificar os factores e aplicação da respectiva expressão de cálculo da vida útil estimada;
- vi. discutir os resultados obtidos com peritos, devendo ser revistos os parâmetros e os seus pesos se necessário;
- vii. e, por fim, apresentar a fórmula de cálculo da durabilidade do material.

Como referido, numa fase anterior à aplicação do método factorial, é necessário melhorar a amostra analisada, especialmente no que respeita à amostra de PVC. É assim possível obter uma amostra mais homogênea e, por isso, com maior relevância estatística, possibilitando a validação dos resultados obtidos.



## Bibliografia

- ABCI - Associação Brasileira de Construção Industrializada. "Manual técnico de caixilhos / janelas, aço, alumínio, madeira; PVC, vidros, acessórios, juntas e materiais de vedação". Pini Editora, São Paulo, Brasil, 1992.
- AdEPorto - Agência de Energia do Porto, Edifícios Saudáveis, & TRENMO, 2008. "Matriz energética do Porto". Retirado de [http://www.adeporto.eu/fotos/editor2/matriz\\_energetica\\_do\\_porto\\_site.pdf](http://www.adeporto.eu/fotos/editor2/matriz_energetica_do_porto_site.pdf) em Abril 2017.
- AIJ "The English edition of the principal guide for service life planning of buildings", Architectural Institute of Japan, Tokyo, Japan, 1993.
- Albano, J.R. "La maintenance des bâtiments en 250 fiches pratiques". Le Moniteur, Paris, France, 2005.
- ALBO - Quality Wooden Windows, UK: <http://albo.cz/english/wooden-windows-iv68styl.htm>, (data da consulta: 28 de Junho de 2017).
- Andrady, A.L. "Microplastics in the marine environment". Marine Pollution Bulletin, Volume 62, Issue 8, Pages 1596-1605, 2011.
- Appelfeld, D.; Hansen, S. H.; Svendsen, S. "Development of a slim window frame made of glass fibre reinforced polyester". Energy and Buildings, Volume 42, Issue 10, 2010, pp. 1918-1925.
- Asif M.; Davidson A.; Muneer T. "Life cycle of window materials - A comparative assessment". School of Engineering, Napier University, Edinburgh, U.K., 2002.
- Athena Institute. "Service life considerations in relation to green buildings rating systems and exploratory study". Athena Sustainable Materials Institute, Ontario, Canada, 2006.
- Berge B., "The ecology of building materials", Architectural Press, 2001.
- British Standards Institute, BSI. "Guide to durability of buildings and building elements, products and components", British Standard: BS 7543: 1992.
- BS 7543 "Guide to durability of buildings and building elements, products and componentes". British Standards Institution, London, United Kingdom, 2015.
- Cecconi, F. "Performance lead the way to service life prediction". 9<sup>th</sup> DBMC International Conference on Durability of Buildings Materials and Components, paper 213, Brisbane, Australia, 2004, pp. 1-9.
- Cecconi, F.; Iacono, P., "Enhancing the factor method - suggestions to avoid subjectivity", 10<sup>th</sup> International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Lyon, pp. 601-609, 2005.
- Chai, C.; de Brito, J.; Gaspar, P.L.; Silva, A. "Predicting the service life of exterior wall painting: techno-economic analysis of alternative maintenance strategies". Journal of Construction Engineering and Management, V. 140, n.º 3, CD-ROM, 2014.
- Chapman K.P. and Beck M. "Recent experiences of housing associations and other registered social landlords in commissioning stock condition surveys". Proceedings COBRA Conference, Oxford, UK, 1998.
- Chaves, F. "Inovação na indústria da caixilharia". Dissertação de Mestrado em Design Industrial - Gestão da Inovação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2003.
- Cóias, V. "Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios". Publicações IST - Instituto Superior Técnico,

10ª Edição, Outubro de 2008.

Cost Modelling Ltd. “*Typical life expectancy of building components*”. 2009. Retirado de <http://www.costmodelling.com/downloads/BuildingComponentLifeExpectancy.pdf> em Abril 2017.

Costa, I. “*Estudo da durabilidade de caixilharias*”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Especialização em Construções. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

Cuce, E. “*Role of airtightness in energy loss from windows: Experimental results from in-situ tests*”. Energy and Buildings, Volume 139, 2017, pp. 449-455.

Daniotti, B. “*Durability evaluation and control to prevent building pathologies*”. 2º Simpósio Internacional sobre Patologia, Durabilidade e Reabilitação dos Edifícios - Aprendendo com os erros e defeitos da construção, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2003, pp. 97-105.

Daniotti, B.; Spagnolo, S. L. “*Service life prediction tools for buildings’ design and management*”. 11<sup>th</sup> DBMC, International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turkey, 2008, CD-ROM.

de Brito, J. “*Vida útil das construções e sua previsão*”, Apontamentos da cadeira de Patologia e Reabilitação da Construção, Lisboa, Portugal, 2001.

de Brito, J., Sousa, V., Pereira, T.D. “*Anomalies in the Sintra National Palace wood-framing*”. Journal of Building Appraisal, Vol. 2, n.º. 3, pp 193-206, 2006.

DIRECTIVA 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, reformulada pela DIRECTIVA 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010, transposta para direito nacional através do Decreto-Lei n.º 118/2013 D.R. n.º. 159, Série I (20/08/2013), alterado pelos Decretos-lei n.º 53/2014, de 8 de Abril e n.º 194/2015, de 14 de Setembro.

DiyNetwork: <http://www.diynetwork.com/how-to/rooms-and-spaces/doors-and-windows/how-to-make-old-windows-more-energy-efficient> (data da consulta: 8 de Julho de 2017).

DOI - U.S. Department of the Interior. “*The Secretary of the Interior’s standards for rehabilitation and guidelines for rehabilitating historic buildings*”. National Park Service, Preservation Assistance Division, Washington, D.C., Revised 1983.

Duling, J.; Horak, E.; Cloete, C. “*Service life prediction beyond the ‘factor method’*”. 11<sup>th</sup> DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, 2008, CD-ROM.

Ellingham, I., Hughes, M., and Fawcett, W. “*Building component replacement under uncertainty*”, Cambridge Architectural Research, UK, 2014.

Eusébio, M. e Rodrigues, M. “*Tintas, vernizes e revestimentos por pintura para a construção civil*”. Série: CS 14, 4ª edição. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2009.

Flores, I. “*Estratégias de manutenção - elementos da envolvente de edifícios correntes*”. Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2002.

Fontinha, I. “*Compatibilidade de materiais metálicos com o meio de exposição*”. Trabalho de síntese. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2002.

Fontinha, I. e Salta, M. "*Comportamento à corrosão e sua prevenção*". Componentes Metálicos na Construção. Informação Técnica de Patologia e Reabilitação das Construções. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2004.

Garcez, N. "*Sistema de inspeção e diagnóstico de revestimentos exteriores de coberturas inclinadas*". Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia de Aeródromos. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.

Garrido, J. "Sistemas energéticos para o sector edifícios em Portugal: sustentabilidade e potencial de inovação". Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2008.

Garrido, M. "*Previsão de vida útil de pinturas de fachadas de edifícios antigos*". Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2010.

Gaspar, P. "*Metodologia para o cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes*". Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2002.

Gaspar, P. "*Vida útil das construções: Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes*". Tese de Doutoramento em Ciências de Engenharia, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.

Gaspar, P.; de Brito, J. "*Assessment of the overall degradation level of an element, based on field data*". 10<sup>th</sup> DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, pp. 1043-1050, Lyon, França, 2005.

Giacomini, E. - "*Caixilharias exteriores para edifícios: Contributo para a melhoria da sua especificação*", Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2007.

Gomes A., Pinto A. P. F. "*Metais*". Materiais de Construção, Apontamentos das Aulas Teóricas, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2009b.

Gomes A., Pinto A. P. F. "*Polímeros*". Materiais de Construção, Apontamentos das Aulas Teóricas, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2014.

Gomes A., Pinto A. P. F. "*Vidro*". Materiais de Construção, Apontamentos das Aulas Teóricas, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2009a.

Gomes, J. "*Sistemas de caixilharia de PVC - Um contributo para a qualidade e sustentabilidade da construção*". Livro elaborado com base na dissertação de Mestrado em Construção, apresentada em 2007, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2011.

Gomes, J.F.G. "*Sistemas de caixilharia de PVC*". Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal 2007.

Gustavsena, A.; Grynings, S.; Arastehb, D.; Jelle, B.; Gourdney, H. "*Key elements and material performance for highly insulating window frames*", Energy and Buildings, Volume 43, Issue 10, 2011, pp. 2583-2594.

- Harwell, AEA. "Green public procurement: Windows technical background report". Report for the European Commission, 2012.
- Hed, G. "Service life planning of building components". 8<sup>th</sup> International Conference on Durability of Building Materials and Components, Vancouver, Canada, 1999, pp. 1543-1551.
- Housing Association Property Mutual, HAPM. "Component life manual", CD-ROM, E&FN Spon, 1999.
- Hovde, P. J. "Engineering design methods for service life prediction". Performance based methods for service life prediction. State of the art, Part A, CIB W080 / RILEM 175-SLM, Norway, 2004, pp. 1-51.
- Hovde, P. J. "The factor method - A simple tool to service life estimation", 10<sup>th</sup> DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Lyon, France, 2005, pp. 522-529.
- Hovde, P. J. "The factor method for service life prediction from theoretical evaluation to practical implementation". 9<sup>th</sup> International Conference on Durability of Buildings Materials and Components, DBMC, Brisbane, Australia, 2002, paper 232.
- Hovde, P. J., "Factor methods for service life prediction: a state-of-the-art". Draft Report, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2000.
- HUD, "Windows & Doors. The Rehab Guide", Volume 4. Washington: Department of Housing and Urban Development, 1999.
- ISO 15686-1:2011 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 15686-5:2017 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 5: Life-cycle costing. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jaber, S.; Ajib, S. "Evaporative cooling as an efficient system in Mediterranean region". Applied Thermal Engineering, 2011, 31 (14-15), pp. 2590-2596.
- Kelly, D. J. "Design life of buildings: A scoping study". Scottish Building Standards Agency, Livingston, Scotland, 2007, pp. 1-40.
- Kempton, J, Chapman, K and Alani, A M. "Surveyor element lifetime predictions and the anchoring and adjustment heuristic". In: Greenwood, D (Ed.), 18<sup>th</sup> Annual ARCOM Conference, University of Northumbria. Association of Researchers in Construction Management, Vol. 1, 145-54. 2002.
- Kiran, D. R. "Chapter 26 - Failure Modes and Effects Analysis". Key Concepts and Case Studies, Total Quality Management, 2017, pp. 373-389.
- Lacasse M. A., Sjöström C. "Recent advances in methods for service life prediction of buildings materials and components - an overview". CIB World Building Congress, Canada, 2004, pp. 1-10.
- Lair, J.; Chevalier, J. L.; Rilling, J. "Operational methods for implementing durability in service life planning framework". CIB World Building Congress, Wellington, New Zealand, 2001, paper 176.
- Lampert C.M. "Large-area smart glass and integrated photovoltaics", Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 76, Issue 4, 1 April 2003, pp. 489-499.
- Leadbitter J. Personal communication, 2012.
- Leira, B.; Lingard, J.; Nesje, A.; Sind, E.; Saegrov, S. "Degradation analysis by statistical methods". 8<sup>th</sup>

International Conference on Durability of Building Materials and Components, Vancouver, Canada, 1999, pp. 1436-1446.

Lisboa e-nova, "Matriz Energética de Lisboa". 2005. Lisboa. Retirado de [http://lisboaenova.org/images/stories/Publicacoes\\_LEN/Energy\\_Matrix/matriz\\_energetica\\_site.pdf](http://lisboaenova.org/images/stories/Publicacoes_LEN/Energy_Matrix/matriz_energetica_site.pdf) em Abril 2017.

Lopes, N. "Tecnologia e reabilitação de revestimentos de coberturas inclinadas", Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.

Martins, J. e Pereira, P. "Colas e mastiques". Séries Materiais - Folhas de apoio à cadeira de Materiais de Construção, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal, 2006.

Martins, J. e Pinto, E. "O Vidro". Série Materiais. Folhas de apoio à cadeira de Materiais de Construção. Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal, 2004.

MarVidro, Comércio de Vidros: <http://www.marvidro.pt/> (data da consulta: 10 de Julho de 2017).

Masters, L. W.; Brandt, E. "Prediction of service life of building materials and componentes", CIB W80/RILEM 71-PSL Final Report, RILEM Technical Committees, 1987.

Mateus, R. e Bragança, L. "Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção". Ermesinde: Edições Ecopy, 2006.

Minne, E.; Wingrove K.; Crittenden, J.C. "Influence of climate on the environmental and economic life cycle assessments of window options in the United States". Energy and Buildings, Volume 102, 2015, pp. 293-306.

Moreira, M., Flórido, F. "Sistema de vãos envidraçados em caixilharia mista: madeira-alumínio". Trabalho realizado no âmbito da disciplina de Tecnologias de Sistemas Construtivos - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

Morris, P.I. "Understanding biodeterioration of wood in structures". Wood Preservation Scientist, Composites and Treated Wood Products, Forintek Canada Corp, 1998.

Moser, K. "Engineering design methods for service life planning - state of the art". WMDBP, International Workshop on Management of Durability in the Building Process, Politecnico di Milano, Milan, Italy, 2003, paper 40.

Moser, K. "Factor methods for service life prediction". Performance based methods for service life prediction. State of the art, Part B, CIB W080 / RILEM 175-SLM, Norway, 2004, pp. 53-95.

Moser, K. "Towards the practical evaluation of service life - Illustrative application of the probabilistic approach". 8<sup>th</sup> International Conference on Durability of Buildings Materials and Components, Vancouver, 1999, pp. 1319-1329.

Nagelkerke, N. "A note on a general definition of the coefficient of determination", Biometrika, V. 78, n.º 3, pp. 691-692, 1991.

National Building Agency, NBA. "Maintenance cycles and life expectancies of building components and materials: a guide to data and sources", London, UK, 1985.

Noortwijk, J. M.; Frangopol, D. M.; Kallen M. J. "Probabilistic models for life-cycle performance of dete-

*riorating structures: review and future directions*". Progress in Structural Engineering and Materials, Volume 6, Issue 4, 2004, pp. 197-212.

Nordic Swan - Ecolabelling for windows and exterior doors. Version 4.5, 19 March 2014 - 31 March 2020.

NP EN 12519:2008 - Janelas e portas pedonais. Vocabulário. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN 14351-1:2008+A1:2010 - Janelas e portas. Norma de produto, características de desempenho. Parte 1: Janelas e portas pedonais exteriores sem características de resistência ao fogo e/ou de estanquidade ao fumo. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN 335-2:1994 - Durabilidade da Madeira de Produtos Derivados. Definição das classes de risco de ataque biológico - Parte 2: Aplicação à madeira maciça. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

O'Mara, R. L. "*Failure modes and effects analysis*", in Greenberd, Risk assessment and risk management for the chemical process industry, Stone & Webster Engineering Corporation, USA, 1991, pp. 91-100.

Pereira, J. "*Tecnologia de aplicação de caixilharias*". Monografia apresentada na cadeira Tecnologia de Fachadas, FEUP, Porto, Portugal, 2004.

Pinheiro, M.D. "*Manual da Unidade Curricular de DASE - Mestrado em Engenharia Civil*" (Março de 2017) - 1 - pp. 10/12.

Pinto A. P. F., Gomes A. "*Madeira*". Materiais de Construção, Apontamentos das Aulas Teóricas, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2011.

Pinto, A. ICT-ITE 52 "*Componentes de edifícios. Aspecto de segurança e resistência mecânica do vidro*". Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2010.

Pinto, A.; Fernandes, O. "*Janelas e portas pedonais exteriores - Guia para Marcação CE (EN 14351-1:2006+A1:2010)*". 2ª Edição, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2011, ICT- ITE 56.

Raquez, J.-M., Bourgeois, A., Jacobs, H., Degée, P., Alexandre, M., Dubois, P. "*Oxidative degradations of oxodegradable LDPE enhanced with thermoplastic pea starch: thermo-mechanical properties, morphology, and UV-ageing studies*". Applied Polymer Science, Volume 122, pp. 489-496, 2011.

Re Cecconi, F., Rigone, P., Vatavalis P., "*Factor method for aluminium windows and curtain walls*". 14<sup>th</sup> International Conference on Durability of Building Materials and Components, At Ghent, Belgium, 2017.

Real, L. "*Degradação de materiais plásticos usados em aplicações exteriores*". Informação Técnica de Materiais de Construção. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2001.

Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Decreto-Lei n.º 80/2006, 4 de Abril de 2006.

Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Decreto-Lei n.º 96/2008, 9 de Junho de 2008.

Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE). Decreto-Lei n.º 79/2006, 4 de Abril de 2006.

Regulamento Geral das Edificações (RGEU), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 38 382, de 7 de Agosto de 1951, com última alteração introduzida ao Artigo 17º pelo Decreto-Lei n.º 50/2008, 19 de Março de 2008.

Regulation (EU) N° 305/2011 - Construction products - "*Laying down harmonised conditions for the marketing of construction products*" and repealing Council Directive 89/106/EEC, 9 March 2011.

Richardson, B. A. "*Remedial Treatment of Buildings*". Butterworth-Heinemann, 1995.

Rudbeck, C. "*Assessing the service life of building envelope construction*". 8<sup>th</sup> DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components; Vancouver, Canada, 1999, pp. 1051-1061.

Rudbeck, C. "*Service life of building envelope components: making it operational in economical assessment*". Construction and Building Materials, V. 16, 2002, pp. 83-89.

Sá, J. "*Sistema de inspeção diagnóstico de rebocos em paredes*". Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2011.

Saint-Gobain Glass, SGG BIOCLEAN: <http://pt.saint-gobain-glass.com/product/1850/sgg-bioclean>, (data da consulta: 7 de Julho de 2017).

Santos, A. "*Sistema de inspeção e diagnóstico de caixilharias*". Dissertação de Mestrado em Engenharia Militar, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2012.

Santos, A.; Vicente, M.; de Brito, J.; Flores-Colen, I.; Castelo, A. "Inspection, diagnosis, and rehabilitation system of door and window frames". Journal of Performance of Constructed Facilities. Volume 31, Issue 3, 2017.

Santos, M. "*Metodologias de previsão da vida útil de materiais, sistemas ou componentes da construção*". Revisão bibliográfica, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

Sarja, A. "Lifetime engineering of buildings and civil infrastructures as a realisation of sustainable construction". VTT Building and Transport, Finland, 2004.

Serralheiro, M.I.; de Brito, J.; Silva, A. "*Methodology for service life prediction of architectural concrete facades*", Construction and Building Materials, V. 133, 2017, pp. 261-274.

Shohet, I.; Rosenfeld, Y.; Puterman, M. and Gilboa, E. "*Deterioration patterns for maintenance management - a methodological approach*". In: 8<sup>th</sup> Int. Conference on Durability of Building Materials and Components, pp. 1666-1678, Vancouver, Canada, 1999.

Shohet, I.M. "*Building evaluation methodology for setting maintenance priorities in hospital buildings, Construction Management and Economics*". Construction Management and Economics, Volume 21, Issue 7, 2003, pp. 681-692.

Silva, A. "*Modelação estatística da previsão da vida útil dos revestimentos de fachada*". Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2015.

Silva, A.; Gaspar, P.; de Brito, J. "*Durability of current renderings: A probabilistic analysis*", Automation in Construction, V. 44, pp. 92-102, 2014.

Silvestre, J. "*Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes*". Dissertação de Mestrado em Construção. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2005.

- Sjöstorm, C.; Jernberg, P.; Caluwaerts, P.; Kelly, S.; Haagenrud, S.; Chevalier, J.L. "Implementation of the European construction products directive via the ISO 15686 standards". 9<sup>th</sup> International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Brisbane, Australia, 2002, paper 10, pp. 1-10.
- Sjöström, C.; Trinius, W.; Davies, H.; Lair, J. "International standards on durability and sustainability of construction works". 11<sup>th</sup> DMBC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turkey, 2008, pp. 1568-1575.
- Sousa, V., Pereira, T., de Brito, J. "Patologias Não Estruturais do Palácio Nacional de Sintra - Anomalias em Caixilharias de Madeira". Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, 2003.
- Stahl, F. A. "A guide to the maintenance, repair and alteration of historic buildings", The Construction Press Ltd, Lunesdale House, Hornby, Lancaster, England, 1984.
- Takata, S.; Kimura, F.; Van Houten, F.; Westkämper, E.; Shpitalni, M; Ceglarek, D; Lee, J. "Maintenance: changing role in life cycle management", CIRP annals, 53 (2), 2004, pp. 643-655.
- Talon, A.; Boissier, D.; Chevalier, J.-L.; Hans, J. "Temporal quantification method of degradation scenarios based on FMEA". 10<sup>th</sup> DBMC International of building materials and components, Lyon, France, 2005, pp. 554-561.
- Teixeira, A. "Caixilharia de alumínio - Guia do formado". Instituto do Emprego e Formação Profissional, Lisboa, Portugal, 1998.
- Tims, Textran Industries: <http://www.tims-pg.com/gasket-window-seal.html> (data da consulta: 10 de Julho de 2017).
- Vanhoutteghem, L.; Skarning, G. C. J.; Hviid C. A.; Svendsen S. "Impact of facade window design on energy, daylighting and thermal comfort in nearly zero-energy houses". Energy and Buildings, Volume 102, 2015, pp. 149-156.
- Vicente, M. "Tecnologia e reabilitação de caixilharias". Dissertação de Mestrado em Engenharia Militar, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2012.
- Viegas, J. C. ICT-ITE 51 "Componentes de edifícios: Selecção de caixilharia e seu dimensionamento mecânico". 5<sup>a</sup> Edição, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2010.
- Weir, G. and Muneer, T. "Energy and nvironmental impact analysis of double-glazed windows". Energy Convers. Mgmt Vol. 39, No.3/4, pp. 243-256, 1998.
- Zheng, Y.; Yanful, E.K.; Bassi, A.S. "A review of plastic waste biodegradation". Critical Reviews in Biotechnology, Volume 25, Pages 243-250, 2008.



## Anexos

## Anexo A - Ficha de inspecção

### Parte 1

I - INFORMAÇÕES GERAIS DA INSPECÇÃO			
Identificação da ficha		Data da inspecção	
Proprietário do imóvel			
Contactos			

II - CONDIÇÕES CLIMATÉRICAS			
II.1 - Temperatura	<5°	Entre 5° e 15°	> 15°
II.2 - Pluviosidade	Nula	Aguaceiros	Chuva forte
II.3 - Humidade	Baixa	Média	Alta

III - EDIFÍCIO										
III.1 - Localização										
III.2 - Altitude	0 - 300		300 - 600		> 600					
III.3 - Tipo de utilização	Habitação		Comércio		Serviços		Outro			
III.4 - Ano de conclusão										
III.5 - N.º de pisos acima do solo										
III.6 - Zona térmica (ver anexo A.I)	Inverno	A		B						
	Verão	A		B		C				
III.7 - Zona de vento	A		B		(ver anexo A.II)					
III.8 - Rugosidade aerodinâmica (ver anexo A.II)	Tipo 0		Tipo I		Tipo II		Tipo III		Tipo IV	
III.9 - Exposição a agentes poluentes	Alta		Média		Baixa		Nula			
III.10 - Tipo de envolvente	Rural		Urbana							
III.11 - Proximidade do mar	< 1 km		> 1 e < 5 km		> 5 km					
III.12 - Notas										

Parte 2

I - CAIXILHARIA VISTORIADA											
I.1 - Caixilharia		(código)									
I.2 - Ano de instalação											
I.3 - Função		Porta	Janela								
I.4 - Orientação da fachada		Norte	Sul	Este	Oeste						
I.5 - Exposição do vão (ao vento)		Protegido	Exposto	(ver anexo A.III)							
I.6 - Condições de sombreamento		Sim	Não	(ex.: persianas / portadas exteriores)							
I.7 - Posição do vão na fachada		Central (G)	Periférica (F)	(ver anexo A.III)							
I.8 - Cota do vão acima do terreno (m)											
I.9 - Dimensões do vão (m)		Altura	Largura								
I.10 - Material		Madeira	Alumínio	PVC	Ferro / aço				Outro		
I.11 - Revestimento	Madeira	Sem revestimento		Tinta	Verniz		Velatura				
	Alumínio	Sem revestimento		Anodização	Lacagem						
	PVC	Sem revestimento			Película		Lacagem				
	Ferro / aço	Sem revestimento	Tinta	Anodização		Lacagem					
	Outro										
I.12 - Forma de abertura		Fixa	Oscilo-batente	Guilhotina	Outra						
		De batente	Pivotante	Vitrô	(*seleccionar as várias)						
		Basculante	De correr	Composta*							
I.13 - Tipo de preenchimento		Vidro simples	Vidro duplo	Grade	Lâmina opaca	Outro					
I.14 - Divisão fonte de vapor de água		Sim	Não	(ex.: cozinha, WC e ginásio)							
I.15 - Marcação CE		Sim	Não								
I.16 - Notas											

II - MANUTENÇÃO, INTERVENÇÕES E HABITOS											
II.1 - Tipologia implementada		Simples		A	Profunda		B				
II.2 - Produtos utilizados											
II.3 - Periodicidade das acções de manutenção		Semanal		Quinzenal	Mensal						
		Trimestral		Semestral	Anual						
II.4 - Intervenções posteriores na caixilharia		Sim	Não								
Data											
Técnica utilizada											
Materiais aplicados											
Data											
Técnica utilizada											
Materiais aplicados											
II.5 - Hábitos do utilizador		N.º de horas diárias com dispositivos de sombreamento									
		Frequência do uso da caixilharia		Diária	Semanal	Mensal					

Parte 3

<b>I - QUANTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS</b>				
<b>CAIXILHARIA METÁLICA (FERRO/AÇO E ALUMÍNIO)</b>				
Mecanismo	Caracterização		Q. afectada	% Afectada
I.1 - D-V	A-M	Acumulação de sujidade	cm	%
	A-E1	Alteração da cor / deterioração superficial do vedante	cm	%
	A-B	Colonização biológica	cm	%
	A-D1	Desprendimento / descontinuidade dos cordões de estanqueidade	cm	%
	A-D2	Ausência dos cordões de estanqueidade	cm	%
I.2 - D-C	A-M	Acumulação de sujidade	cm	%
	A-E2	Alteração da cor do revestimento	cm	%
	A-R1	Fissuração / ponteados do revestimento	cm	%
	A-B	Colonização biológica	cm	%
	A-R2	Corrosão do material do caixilho	cm	%
	A-C	Destacamento do revestimento	cm	%
	A-O	Deformação da caixilharia	cm	%
I.3 - D-F	A-G	Folgas e/ou frestas	cm	%
	A-M	Acumulação de sujidade	N.º	%
	A-Q1	Corrosão / degradação dos mecanismos	N.º	%
	A-Q2	Mecanismos em falta / danificados	N.º	%
	Corrosão de peças acessórias (parafusos)		N.º /	%

<b>I - QUANTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS</b>				
<b>CAIXILHARIA EM PVC</b>				
Mecanismo	Caracterização		Q. afectada	% Afectada
I.1 - D-V	A-M	Acumulação de sujidade	cm	%
	A-E1	Alteração da cor / deterioração superficial do vedante	cm	%
	A-B	Colonização biológica	cm	%
	A-D1	Desprendimento / descontinuidade dos cordões de estanqueidade	cm	%
	A-D2	Ausência dos cordões de estanqueidade	cm	%
I.2 - D-C	A-M	Acumulação de sujidade	cm	%
	A-E2	Alteração da cor do revestimento	cm	%
	A-R1	Fissuração / ponteados do revestimento	cm	%
	A-B	Colonização biológica	cm	%
	A-N	Envelhecimento do material da caixilharia	cm	%
	A-C	Destacamento do revestimento	cm	%
	A-O	Deformação da caixilharia	cm	%
I.3 - D-F	A-G	Folgas e/ou frestas	cm	%
	A-M	Acumulação de sujidade	N.º	%
	A-Q1	Corrosão / degradação dos mecanismos	N.º	%
	A-Q2	Mecanismos em falta / danificados	N.º	%

<b>I - QUANTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS</b>				
CAIXILHARIA EM MADEIRA				
Mecanismo	Caracterização		Q. afectada	% Afectada
I.1 - D-V	A-M	Acumulação de sujidade	cm	%
	A-L	Deterioração do revestimento da massa de vidraceiro	cm	%
	A-B	Colonização biológica	cm	%
	A-D1	Desprendimento/descontinuidade da massa de vidraceiro	cm	%
	A-D2	Ausência da massa de vidraceiro	cm	%
I.2 - D-C	A-M	Acumulação de sujidade	cm	%
	A-E2	Alteração da cor do revestimento	cm	%
	A-R1	Fissuração / ponteados do revestimento	cm	%
	A-B	Colonização biológica	cm	%
	A-N	Envelhecimento do material da caixilharia	cm	%
	A-X	Ataque de xilófagos (térmitas/caruncho)	cm	%
	A-P	Ataque de fungos de podridão/bolores	cm	%
	A-C	Destacamento do revestimento	cm	%
	A-O	Deformação da caixilharia	cm	%
A-G	Folgas e/ou frestas	cm	%	
I.3 - D-F	A-M	Acumulação de sujidade	N.º	%
	A-Q1	Corrosão / degradação dos mecanismos	N.º	%
	A-Q2	Mecanismos em falta / danificados	N.º	%

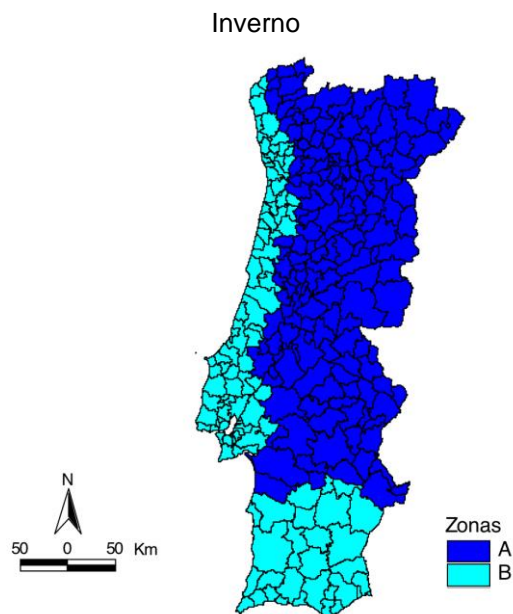
<b>II - ESTADO DE DETERIORAÇÃO</b>				
II.1 - Estanqueidade ao ar	Entrada pontual de um elevado caudal de ar		Entrada abundante de um elevado caudal de ar	
II.2 - Estanqueidade à água	Entrada pontual de água da chuva		Entrada abundante de água da chuva	
II.3 - Operacionalidade	Caixilharia inoperável			
Observações:				

D-V	Degradação de mástiques, cordões de estanqueidade ou massa de vidraceiro
D-C	Degradação do revestimento / material do caixilho
D-F	Degradação das ferragens

<b>III - DIMENSÕES TOTAIS DOS COMPONENTES</b>		
Mecanismo	Total	Observações
III.1 - D-V	cm	
III.2 - D-C	cm	
III.3 - D-F	N.º	

<b>IV - ASPECTO GLOBAL</b>									
Aspecto global da caixilharia	Inalterado		Bom		Degradação ligeira		Degradação moderada		Degradação severa
Observações:									

## Anexo A.I - Zonamento térmico (EC1 - Parte 1.5)



(Fonte: apontamentos da disciplina de Dimensionamento de Estruturas do IST - resumo da EN 1991-1-5)

### Zona A – $T_{\min} = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

#### Continente:

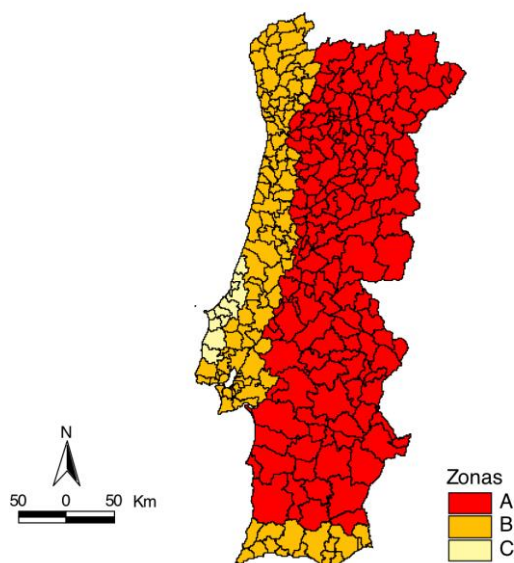
Abrantes, Aguiar da Beira, Alandroal, Alcácer do Sal, Alcanena, Alfândega da Fé, Alijó, Almeida, Almeirim, Alpiarça, Alter do Chão, Alvaiázere, Alvito, Amarante, Amares, Anadia, Ansião, Arcos de Valdevez, Arganil, Armamar, Arouca, Arraiolos, Arronches, Avis, Baião, Barrancos, Belmonte, Borba, Boticas, Braga, Bragança, Cabeceiras de Basto, Campo Maior, Carrazeda de Ansiães, Carregal do Sal, Castanheira de Pêra, Castelo Branco, Castelo de Paiva, Castelo de Vide, Castro Daire, Celorico da Beira, Celorico de Basto, Chamusca, Chaves, Cinfães, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Constância, Coruche, Covilhã, Crato, Elvas, Entroncamento, Estremoz, Évora, Fafe, Felgueiras, Ferreira do Zêzere, Figueira de Castelo Rodrigo, Figueiró dos Vinhos, Fornos de Algodres, Freixo de Espada à Cinta, Fronteira, Fundão, Gavião, Góis, Golegã, Gouveia, Grândola, Guarda, Guimarães, Idanha-a-Nova, Lamego, Lousã, Lousada, Mação, Macedo de Cavaleiros, Mangualde, Manteigas, Marco de Canaveses, Marvão, Mealhada, Meda, Melgaço, Mesão Frio, Miranda do Corvo, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Moimenta da Beira, Monção, Mondim de Basto, Monforte, Montalegre, Montemor-o-Novo, Mora, Mortágua, Moura, Mourão, Murça, Nelas, Nisa, Oleiros, Oliveira de Frades, Oliveira do Hospital, Ourém, Pampilhosa da Serra, Paredes de Coura, Pedrógão Grande, Penacova, Penafiel, Penalva do Castelo, Penamacor, Penedono, Penela, Peso da Régua, Pinhel, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Ponte de Sor, Portalegre, Portel, Póvoa de Lanhoso, Proença-a-Nova, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Resende, Ribeira de Pena, Sabrosa, Sabugal, Santa Comba, Dão, Santa Marta de Penaguião, Santarém, São João da Pesqueira, São Pedro do Sul, Sardoal, Sátão, Seia, Sernancelhe, Sertã, Sousel, Tábua, Tabuaço, Tarouca, Terras de Bouro, Tomar, Tondela, Torre de Moncorvo, Torres Novas, Trancoso, Valença, Valpaços, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vieira do Minho, Vila de Rei, Vila Flor, Vila Nova da Barquinha, Vila Nova de Foz Côa, Vila Nova de Paiva, Vila Nova de Poiares, Vila Pouca de Aguiar, Vila Real, Vila Velha de Ródão, Vila Verde, Vila Viçosa, Vimioso, Vinhais, Viseu, Vizela, Vouzela

### Zona B – $T_{\min} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

#### Continente:

Águeda, Albergaria-a-Velha, Albufeira, Alcobaca, Alcochete, Alcútem, Alenquer, Aljezur, Aljustrel, Almada, Almodôvar, Amadora, Arruda dos Vinhos, Aveiro, Azambuja, Barcelos, Barreiro, Batalha, Beja, Benavente, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Caminha, Cantanhede, Cartaxo, Cascais, Castro Marim, Castro Verde, Cuba, Espinho, Esposende, Estarreja, Faro, Ferreira do Alentejo, Figueira da Foz, Gondomar, Ílhavo, Lagoa, Lagos, Leiria, Lisboa, Loulé, Loures, Lourinhã, Mafra, Maia, Marinha Grande, Matosinhos, Mértola, Mira, Moita, Monchique, Montemor-o-Velho, Montijo, Murtosa, Nazaré, Óbidos, Odemira, Odivelas, Oeiras, Olhão, Oliveira de Azeméis, Oliveira do Bairro, Ourique, Ovar, Paços de Ferreira, Palmela, Paredes, Peniche, Pombal, Portimão, Porto, Porto de Mós, Póvoa de Varzim, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santa Maria da Feira, Santiago do Cacém, Santo Tirso, São Brás de Alportel, São João da Madeira, Seixal, Serpa, Sesimbra, Setúbal, Sever do Vouga, Silves, Sines, Sintra, Sobral de Monte Agraço, Soure, Tavira, Torres Vedras, Trofa, Vagos, Vale de Cambra, Valongo, Viana do Castelo, Vidigueira, Vila do Bispo, Vila do Conde, Vila Franca de Xira, Vila Nova de Cerveira, Vila Nova de Famalicão, Vila Nova de Gaia, Vila Real de Santo António

## Verão



(Fonte: apontamentos da disciplina de Dimensionamento de Estruturas do IST - resumo da EN 1991-1-5)

### Zona A – $T_{\max} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$

#### Continente:

Abrantes, Aguiar da Beira, Alandroal, Alcácer do Sal, Alcoutim, Alfândega da Fé, Alijó, Aljustrel, Almeida, Almeirim, Almodôvar, Alpiarça, Alter do Chão, Alvito, Amarante, Arganil, Armamar, Arouca, Arraiolos, Arronches, Avis, Baião, Barrancos, Beja, Belmonte, Borba, Boticas, Bragança, Cabeceiras de Basto, Campo Maior, Carraceda de Ansiães, Carregal do Sal, Castanheira de Pêra, Castelo Branco, Castelo de Paiva, Castelo de Vide, Castro Daire, Castro Verde, Celorico da Beira, Celorico de Basto, Chamusca, Chaves, Cinfães, Constância, Coruche, Covilhã, Crato, Cuba, Elvas, Entroncamento, Estremoz, Évora, Ferreira do Alentejo, Ferreira do Zêzere, Figueira de Castelo Rodrigo, Figueiró dos Vinhos, Fornos de Algodres, Freixo de Espada à Cinta, Fronteira, Fundão, Gavião, Góis, Golegã, Gouveia, Grândola, Guarda, Idanha-a-Nova, Lamego, Lousã, Mação, Macedo de Cavaleiros, Mangualde, Manteigas, Marco de Canaveses, Marvão, Meda, Mértola, Mesão Frio, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Moimenta da Beira, Mondim de Basto, Monforte, Montalegre, Montemor-o-Novo, Mora, Mortágua, Moura, Mourão, Murça, Nelas, Nisa, Odemira, Oleiros, Oliveira de Frades, Oliveira do Hospital, Ourique, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penacova, Penafiel, Penalva do Castelo, Penamacor, Penedono, Peso da Régua, Pinhel, Ponte de Sor, Portalegre, Portel, Proença-a-Nova, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Resende, Ribeira de Pena, Sabrosa, Sabugal, Santa Comba Dão, Santa Marta de Penaguião, Santiago do Cacém, São João da Pesqueira, São Pedro do Sul, Sardoal, Sátão, Seia, Sernancelhe, Serpa, Sertã, Sines, Sousel, Tábua, Tabuaço, Tarouca, Tomar, Tondela, Torre de Moncorvo, Trancoso, Valpaços, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vidigueira, Vila de Rei, Vila Flor, Vila Nova da Barquinha, Vila Nova de Foz Côa, Vila Nova de Paiva, Vila Nova de Poiares, Vila Pouca de Aguiar, Vila Real, Vila Velha de Ródão, Vila Viçosa, Vimioso, Vinhais, Viseu, Vouzela

### Zona B – $T_{\max} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$

#### Continente:

Águeda, Albergaria-a-Velha, Albufeira, Alcanena, Alcochete, Alenquer, Aljezur, Almada, Alvaiázere, Amadora, Amares, Anadia, Ansião, Arcos de Valdevez, Arruda dos Vinhos, Aveiro, Azambuja, Barcelos, Barreiro, Batalha, Benavente, Braga, Cadaval, Caminha, Cantanhede, Cartaxo, Cascais, Castro Marim, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Espinho, Esposende, Estarreja, Fafe, Faro, Felgueiras, Figueira da Foz, Gondomar, Guimarães, Ílhavo, Lagoa, Lagos, Leiria, Lisboa, Loulé, Loures, Lousada, Maia, Matosinhos, Mealhada, Melgaço, Mira, Miranda do Corvo, Moita, Monção, Monchique, Montemor-o-Velho, Montijo, Murtosa, Odivelas, Oeiras, Olhão, Oliveira de Azeméis, Oliveira do Bairro, Ourém, Ovar, Paços de Ferreira, Palmela, Paredes, Paredes de Coura, Penela, Pombal, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Portimão, Porto, Porto de Mós, Póvoa de Lanhoso, Póvoa de Varzim, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santa Maria da Feira, Santarém, Santo Tirso, São Brás de Alportel, São João da Madeira, Seixal, Sesimbra, Setúbal, Sever do Vouga, Silves, Sintra, Sobral de Monte Agraço, Soure, Tavira, Terras de Bouro, Torres Novas, Trofa, Vagos, Vale de Cambra, Valença, Valongo, Viana do Castelo, Vieira do Minho, Vila do Bispo, Vila do Conde, Vila Franca de Xira, Vila Nova de Cerveira, Vila Nova de Famalicão, Vila Nova de Gaia, Vila Real de Santo António, Vila Verde, Vizela

## Anexo A.II - Zonamento do território em termos da acção do vento (EC1 - Parte 1.4)



(Fonte: <http://www.ceramicatorreense.pt/>)

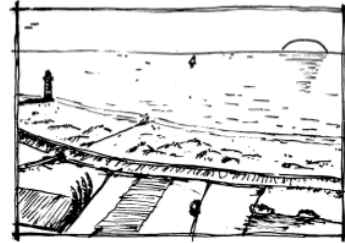
- zona A - generalidade do território, excepto zona B;
- zona B - arquipélago dos Açores e da Madeira e regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou altitudes superiores a 600 m.



## Rugosidade aerodinâmica (EC1 - Parte 1.4)

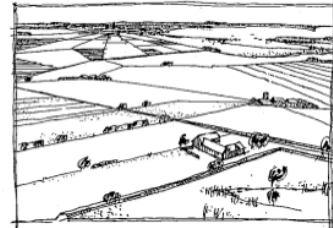
### **Categoria de terreno 0**

Mar ou zona costeira exposta aos ventos de mar



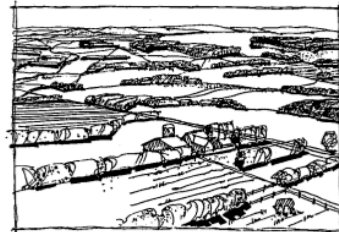
### **Categoria de terreno I**

Lagos ou zona com vegetação negligenciável e livre de obstáculos



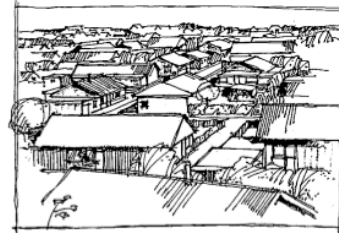
### **Categoria de terreno II**

Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura



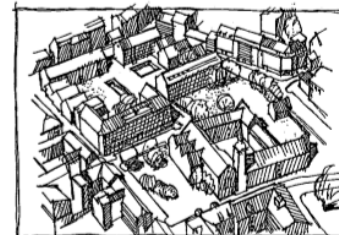
### **Categoria de terreno III**

Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: aldeias, zonas suburbanas, florestas permanentes)



### **Categoria de terreno IV**

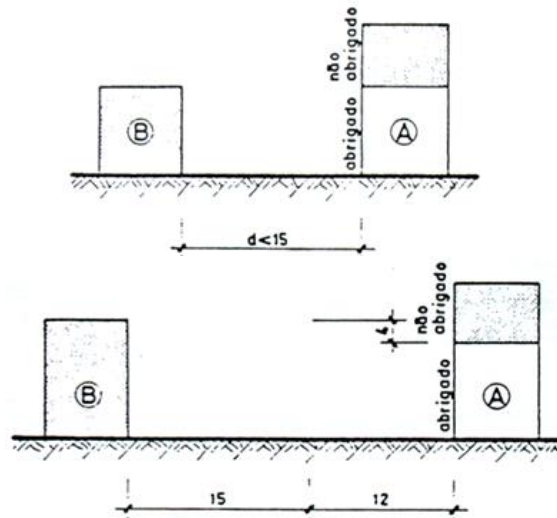
Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m



(Fonte: apontamentos da disciplina de Dimensionamento de Estruturas do IST - resumo da EN 1991-1-4)

### Anexo A.III - Exposição do vão (RSA)

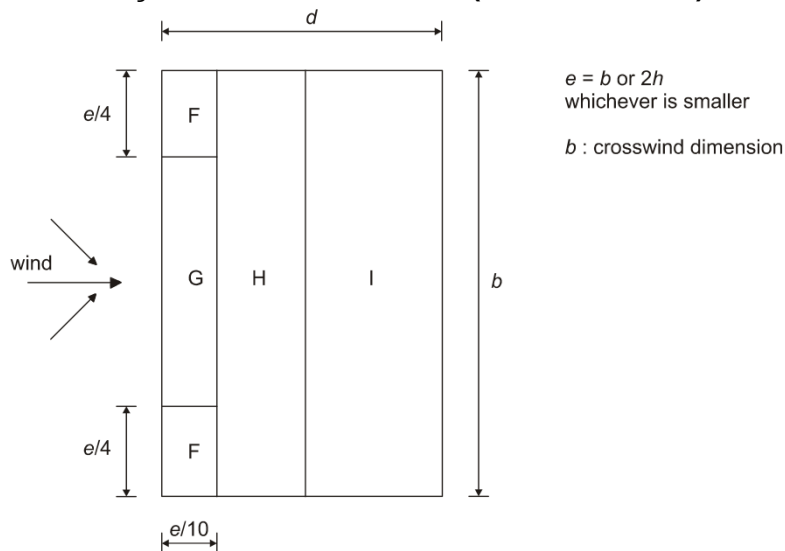
Define-se construção abrigada como:



(Fonte: Fernandes, Maria. 2002. *Regulamentação aplicável às caixilharias*. Monografia apresentada na cadeira Tecnologia de Fachadas. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.)

- para uma linha de construções situada a uma distância máxima de 15 m, a parte considerada da fachada não excede a altura dessas construções;
- para uma linha de construções situada a uma distância entre 15 e 30 m, a parte considerada da fachada não excede a altura dessas construções deduzida de 1/3 do excesso além de 15 m da distância entre edifícios.

### Posição do vão na fachada (EC1 - Parte 1.4)



(Fonte: apontamentos da disciplina de Dimensionamento de Estruturas do IST - resumo da EN 1991-1-4)

## Anexo B - Caracterização dos edifícios analisados

Identificação	Concelho	Localização	Localização	Ano de construção	N.º de pisos acima do solo	N.º de caixilharias inspeccionadas	Tipo de utilização	Data de inspeção
A	Sintra	Massamá	Av. 25 de Abril - lote 32	1983	3	7	Habitação	23/04/2017
B	Sardoal	Lomba	39.591623, -8.170291	1985 / 2006	1	7	Habitação	01/07/2017
C	Sardoal	Lomba	39.591982, -8.169935	1981	1/2	11	Habitação	03/08/2017
D	Lisboa	Encarnação	R. Mercado - lote 26	1985	1/2	6	Habitação	23/08/2017
E	Sintra	Abrunheira	R. São José - lote 50	1980	2	4	Habitação	01/08/2017
F	Sintra	Mem-Martins	R. Eiras - lote 65	1992	3	3	Habitação	13/09/2017
G	Sardoal	Lomba	39.594928, -8.171559	1978	1	6	Habitação	16/09/2017
H	Sintra	Rio de Mouro	R. Dr. Sousa Martins - lote 4	1996	4	4	Habitação	17/09/2017
I	Sintra	Magoito	R. do Pedregal de Baixo - lote 3B	1993	5	5	Habitação	05/10/2017
J	Almada	Charneca da Caparica	R. da Aroeira - lote 47A	1984	1/2	6	Habitação	20/10/2017
K	Mafra	Tourinha	38.999075, -9.247091	2016	1	1	Habitação	09/10/2017
L	Mafra	Tourinha	38.996646, -9.251274	1857	1/2	7	Habitação	09/10/2017
M	Sintra	Abrunheira	Av. Combatentes - lote 37	1947	1	4	Habitação	10/11/2017
N	Sintra	Manique	R. Terra da Figueira - lote 39	1995	1/2	7	Habitação	11/11/2017
O	Sintra	Abrunheira	R. das Sesmarias - lote 37	1953	1	5	Habitação	12/11/2017
P	Sintra	Abrunheira	38.773406, -9.359010	2000	1	2	Habitação	12/11/2017
Q	Sintra	Abrunheira	38.773443, -9.360417	2002	2	4	Habitação	23/11/2017
R	Sintra	Abrunheira	R. Terra da Figueira - lote 31	1960 / 1989	1	4	Habitação	24/11/2017
S	Sintra	Carne Assada	38.862835, -9.367862	2000	1/2	10	Habitação	25/11/2017
T	Sintra	Rio de Mouro	R. Francisco Costa - lote 14	2003	3	5	Habitação	02/11/2017
U	Almada	Trafaria	Av. Bulhão Pato - lote 44	1982	2	4	Habitação	05/12/2017
V	Almada	Trafaria	Av. Bulhão Pato - lote 44	1982	3	4	Habitação	05/12/2017
W	Amadora	Mina	R. Oliveira Martins - lote 1	1983	1	3	Serviços	06/12/2017
X	Sintra	Abrunheira	38.773443, -9.360417	1985	1	6	Habitação	07/12/2017
Y	Sintra	Abrunheira	Av. Movimento das Forças Armadas - lote 3	1992	3	5	Habitação	09/12/2017
Z	Lisboa	Parque das Nações	Passeio Adamastor - lote 4B	2008	4	3	Habitação	12/12/2017
AA	Sintra	Mercês	Praceta Francisco Ramos da Costa - lote 21	1988	3	3	Habitação	14/12/2017
AB	Cascais	Estoril	R. Brito Camacho - lote 87	1975	2	4	Habitação	15/12/2017
AC	Mealhada	Luso	R. Dr. José Cid de Oliveira - lote 86	1937 / 2005	6	4	Serviços	16/12/2017
AD	Lisboa	Areeiro	Av. Roma - lote 15	1962	6	11	Habitação	22/12/2017
AE	Sintra	Queluz	R. Dr. Manuel de Arriaga - lote 27	2004	2	4	Habitação	28/12/2017
AF	Sintra	Queluz	R. Dr. Manuel de Arriaga - lote 27	2004	3	3	Habitação	28/12/2017
AG	Sesimbra	Quinta do Conde	R. Rio Chança nº 495 B	2014	1/2/3	6	Habitação	27/01/2017
AH	Montijo	Barreiro	R. Professor Vicente Fança - lote 65	1987	5	3	Habitação	27/01/2017
AI	Castro Verde	Aivados	R. de Santo António	1978	1	18	Habitação	27/01/2017

### Anexo C - Caracterização das caixilharias analisadas

Designação	Ano de instalação	Orientação da fachada	Exposição do vão	Condições de sombreamento	Material	Revestimento	Manutenção Simples	Intervenções posteriores	N.º de horas diárias com dispositivos de sombreamento	Frequência do uso da caixilharia
A.01	1983	Este	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Diária
A.02	1983	Este	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Diária
A.03	1983	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Tentativa de reparação do vedante do aro móvel inferior	≥ 10 e < 14 h	Diária
A.04	1983	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Diária
A.05	1988	Sul	Protegido	Não	Alumínio	Sem revestimento	Trimestral	Não	-	Diária
A.06	1983	Sul	Protegido	Não	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	-	Diária
A.07	1983	Oeste	Protegido	Não	Alumínio	Sem revestimento	Mensal	Não	-	Diária
B.01	1985	Este	Exposto	Não	Alumínio	Sem revestimento	Inexistente	Não	-	Mensal
B.02	1985	Oeste	Protegido	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Inexistente	Não	≥ 14 h	Mensal
B.03	1985	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Inexistente	Não	≥ 14 h	Mensal
B.04	1985	Este	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Inexistente	Não	≥ 14 h	Mensal
B.05	1985	Este	Exposto	Não	Alumínio	Sem revestimento	Inexistente	Não	-	Mensal
B.06	2006	Este	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	≥ 14 h	Mensal
B.07	1985	Norte	Protegido	Não	Alumínio	Sem revestimento	Inexistente	Não	-	Mensal
C.01	1981	Sul	Protegido	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	> 10 e < 14 h	Semanal
C.02	1981	Sul	Protegido	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	> 10 e < 14 h	Semanal
C.03	1981	Oeste	Protegido	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	> 10 e < 14 h	Semanal
C.04	1981	Norte	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	> 10 e < 14 h	Semanal
C.05	1981	Este	Exposto	Não	Madeira	Tinta	Mensal	Não	> 10 e < 14 h	Semanal
C.06	1981	Este	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	> 10 e < 14 h	Semanal
C.07	1981	Oeste	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	> 10 e < 14 h	Semanal
C.08	1981	Sul	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	> 10 e < 14 h	Semanal
C.09	1981	Sul	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	> 10 e < 14 h	Semanal
C.10	1981	Este	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	> 10 e < 14 h	Semanal
C.11	1981	Norte	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	> 10 e < 14 h	Semanal
D.01	1985	Este	Protegido	Sim	Madeira	Tinta	Quinzenal	Não	< 10 h	Semanal
D.02	1985	Este	Protegido	Sim	Madeira	Tinta	Quinzenal	Colocação de massa de vidraceiro pontualmente	< 10 h	Semanal
D.03	1985	Oeste	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Quinzenal	Colocação de fita adesiva	< 10 h	Semanal

Designação	Ano de instalação	Orientação da fachada	Exposição do vão	Condições de sombreamento	Material	Revestimento	Manutenção Simples	Intervenções posteriores	N.º de horas diárias com dispositivos de sombreamento	Frequência do uso da caixilharia
D.04	1985	Sul	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Quinzenal	Colocação de silicone (vedantes), reforço dos cantos da caixilharia com elementos metálicos	> 10 e < 14 h	Semanal
D.05	1985	Este	Protegido	Sim	Madeira	Tinta	Inexistente	Troca do aro inferior de uma das folhas móveis	< 10 h	Semanal
D.06	1985	Este	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Quinzenal	Pintura e reparação geral	< 10 h	Semanal
E.01	1998	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	≥ 14 h	Diária
E.02	1998	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	≥ 14 h	Diária
E.03	2012	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	≥ 14 h	Diária
E.04	2012	Sul	Protegido	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	≥ 14 h	Diária
F.02	1992	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	< 10 h	Diária
F.03	1992	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Fita dos estores foi substituída	≥ 14 h	Diária
F.04	1992	Norte	Protegido	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Mensal	Não	≥ 14 h	Diária
G.01	1992	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Diária
G.02	1992	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Semanal
G.03	1992	Sul	Protegido	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Semanal
G.04	1992	Este	Protegido	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Semanal
G.05	1992	Este	Protegido	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	< 10 h	Diária
G.06	1992	Este	Protegido	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	< 10 h	Diária
H.01	1996	Sul	Protegido	Sim	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	≥ 10 e < 14 h	Semanal
H.02	1996	Sul	Protegido	Sim	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
H.03	1996	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	≥ 14 h	Semanal
H.04	1997	Norte	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	-	Diária
I.01	1993	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Semestral	Não	≥ 14 h	Mensal
I.02	1993	Este	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Semestral	Não	≥ 14 h	Mensal
I.03	1993	Norte	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Semestral	Não	≥ 14 h	Mensal
I.04	1993	Este	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Semestral	Não	≥ 14 h	Mensal
I.05	1993	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Semestral	Não	≥ 14 h	Mensal
J.01	1984	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Diária
J.02	1984	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Diária
J.03	1984	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Diária

Designação	Ano de instalação	Orientação da fachada	Exposição do vão	Condições de sombreamento	Material	Revestimento	Manutenção Simples	Intervenções posteriores	N.º de horas diárias com dispositivos de sombreamento	Frequência do uso da caixilharia
J.04	1984	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Semanal
J.05	1984	Este	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Diária
J.06	1984	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Diária
K.01	2016	Este	Protegido	Sim	Alumínio	Lacagem	Semanal	Não	-	Diária
L.01	2011	Este	Protegido	Não	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	-	Semanal
L.02	2008	Norte	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	-	Semanal
L.03	2008	Norte	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	-	Semanal
L.04	2008	Sul	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	-	Semanal
L.05	2008	Este	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	-	Semanal
L.06	2008	Norte	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	-	Semanal
L.07	2011	Sul	Exposto	Não	Madeira	Tinta	Inexistente	Não	-	Semanal
M.01	1987	Sul	Protegido	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
M.02	1987	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
M.03	1987	Oeste	Protegido	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
M.04	1987	Sul	Protegido	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
N.01	2003	Norte	Protegido	Não	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	-	Semanal
N.02	1996	Sul	Protegido	Não	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	-	Semanal
N.03	2003	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	≥ 10 e < 14 h	Semanal
N.04	2003	Sul	Protegido	Não	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	-	Mensal
N.05	2003	Sul	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	-	Mensal
N.06	2003	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
N.07	1996	Norte	Protegido	Sim	Madeira	Verniz	Quinzenal	Não	≥ 10 e < 14 h	Semanal
O.01	1992	Oeste	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	-	Diária
O.02	1987	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Quinzenal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
O.03	2016	Sul	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	-	Diária
O.04	2008	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
O.05	2008	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
P.01	2000	Este	Protegido	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
P.02	2000	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
Q.01	2002	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
Q.02	2002	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Semanal	Não	< 10 h	Diária
Q.03	2002	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Mensal
Q.04	2002	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária

Designação	Ano de instalação	Orientação da fachada	Exposição do vão	Condições de sombreamento	Material	Revestimento	Manutenção Simples	Intervenções posteriores	N.º de horas diárias com dispositivos de sombreamento	Frequência do uso da caixilharia
R.01	1987	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
R.02	1987	Norte	Protegido	Sim	Alumínio	Lacagem	Semanal	Não	< 10 h	Diária
R.03	1987	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
R.04	1991	Oeste	Protegido	Sim	Alumínio	Lacagem	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
S.01	2000	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	< 10 h	Semanal
S.02	2000	Oeste	Protegido	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Mensal
S.03	2000	Norte	Protegido	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	< 10 h	Mensal
S.04	2000	Este	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Substituição do mecanismo principal de fecho (2000)	< 10 h	Mensal
S.05	2000	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	< 10 h	Mensal
S.06	2000	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Substituição de parte do vedante inferior	< 10 h	Semanal
S.07	2000	Oeste	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Mensal	Colocação de silicone entre caixilho e vão de 2 em 2 anos	-	-
S.08	2000	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Semanal
S.09	2000	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Semanal
S.10	2010	Este	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Inexistente	Não	-	Semanal
T.01	2003	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
T.02	2003	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	< 10 h	Diária
T.03	2003	Norte	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	≥ 14 h	Diária
T.04	2003	Norte	Exposto	Não	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	≥ 14 h	Diária
T.05	2003	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Quinzenal	Não	< 10 h	Diária
U.01	1982	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Quinzenal	Não	< 10 h	Diária
U.02	1982	Este	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Quinzenal	Não	< 10 h	Diária
U.03	1985	Norte	Exposto	Não	Alumínio	Sem revestimento	Quinzenal	Não	-	Diária
U.04	1985	Sul	Exposto	Não	Alumínio	Sem revestimento	Quinzenal	Não	-	Diária
V.01	1982	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Diária
V.02	1982	Este	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	≥ 14 h	Diária
V.03	1985	Norte	Exposto	Não	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	-	Diária
V.04	1985	Este	Exposto	Não	Alumínio	Sem revestimento	Semanal	Não	-	Diária
W.01	1983	Oeste	Exposto	Não	Alumínio	Sem revestimento	Inexistente	Não	-	-
W.02	1983	Oeste	Exposto	Não	Alumínio	Sem revestimento	Inexistente	Não	-	-
W.03	1983	Norte	Exposto	Não	Alumínio	Sem revestimento	Inexistente	Não	-	-
X.01	1998	Este	Protegido	Sim	Alumínio	Anodização	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária

Designação	Ano de instalação	Orientação da fachada	Exposição do vão	Condições de sombreamento	Material	Revestimento	Manutenção Simples	Intervenções posteriores	N.º de horas diárias com dispositivos de sombreamento	Frequência do uso da caixilharia
X.02	1998	Este	Protegido	Sim	Alumínio	Anodização	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
X.03	1998	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Anodização	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
X.04	1998	Norte	Protegido	Sim	Alumínio	Anodização	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
X.05	1998	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Anodização	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
X.06	1998	Norte	Protegido	Sim	Alumínio	Anodização	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
Y.01	1992	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
Y.02	1992	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
Y.03	1992	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
Y.04	1992	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
Y.05	1992	Oeste	Protegido	Não	Madeira	Verniz	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
Z.01	2008	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Anual	Não	≥ 14 h	Diária
Z.02	2008	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Anual	Não	< 10 h	Diária
Z.03	2008	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Lacagem	Anual	Não	≥ 14 h	Diária
AA.01	1988	Norte	Exposto	Sim	Alumínio	Anodização	Mensal	Não	< 10 h	Semanal
AA.02	1988	Norte	Exposto	Não	Alumínio	Anodização	Mensal	Não	-	Semanal
AA.03	1988	Sul	Exposto	Sim	Alumínio	Anodização	Mensal	Não	< 10 h	Semanal
AB.01	2007	Este	Exposto	Sim	Madeira	Verniz	Quinzenal	Aplicação de verniz de 10 em 10 anos	< 10 h	Diária
AB.02	2007	Este	Exposto	Sim	Madeira	Verniz	Quinzenal	Aplicação de verniz de 10 em 10 anos	< 10 h	Diária
AB.03	2007	Oeste	Exposto	Sim	Madeira	Verniz	Quinzenal	Aplicação de verniz de 10 em 10 anos	< 10 h	Diária
AB.04	1978	Oeste	Exposto	Sim	Alumínio	Sem revestimento	Quinzenal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
AC.01	2007	Sul	Exposto	Não	PVC	Lacagem	Semanal	Não	-	Diária
AC.02	2007	Oeste	Exposto	Não	PVC	Lacagem	Semanal	Não	-	Diária
AC.03	2007	Oeste	Exposto	Não	PVC	Lacagem	Semanal	Não	-	Diária
AC.04	2007	Oeste	Exposto	Não	PVC	Lacagem	Semanal	Não	-	Diária
AD.01	1987	Oeste	Exposto	Não	Alumínio	Sem revestimento	Mensal	Não	-	Semanal
AD.02	1987	Sul	Exposto	Não	Alumínio	Sem revestimento	Mensal	Não	-	Semanal
AD.03	2014	Oeste	Exposto	Sim	PVC	Lacagem	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Semanal
AD.04	2014	Oeste	Exposto	Sim	PVC	Lacagem	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Semanal
AD.05	2014	Oeste	Exposto	Sim	PVC	Lacagem	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Semanal
AD.06	2005	Este	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Semanal
AD.07	2005	Este	Exposto	Sim	Madeira	Tinta	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Semanal
AD.08	2005	Sul	Exposto	Não	PVC	Lacagem	Mensal	Não	-	Semanal
AD.09	2005	Sul	Exposto	Não	PVC	Lacagem	Mensal	Não	-	Semanal



Designação	Ano de instalação	Orientação da fachada	Exposição do vão	Condições de sombreamento	Material	Revestimento	Manutenção Simples	Intervenções posteriores	N.º de horas diárias com dispositivos de sombreamento	Frequência do uso da caixilharia
AD.10	2005	Este	Exposto	Não	PVC	Lacagem	Mensal	Não	-	Semanal
AD.11	2005	Este	Exposto	Não	PVC	Lacagem	Mensal	Não	-	Semanal
AE.01	2004	Este	Exposto	Sim	PVC	Lacagem	Quinzenal	Não	< 10 h	Diária
AE.02	2004	Este	Exposto	Sim	PVC	Lacagem	Quinzenal	Não	≥ 14 h	Semanal
AE.03	2004	Norte	Protegido	Sim	PVC	Lacagem	Quinzenal	Troca do mecanismo de abertura há dois anos	< 10 h	Diária
AE.04	2004	Oeste	Exposto	Sim	PVC	Lacagem	Quinzenal	Não	< 10 h	Diária
AF.01	2016	Este	Exposto	Sim	PVC	Lacagem	Semanal	Não	< 10 h	Diária
AF.02	2016	Norte	Protegido	Sim	PVC	Lacagem	Semanal	Não	< 10 h	Diária
AF.03	2016	Oeste	Exposto	Sim	PVC	Lacagem	Semanal	Não	< 10 h	Diária
AG.01	2014	Norte	Exposto	Sim	PVC	Película	Quinzenal	Não	≥ 14 h	Mensal
AG.02	2014	Este	Protegido	Sim	PVC	Película	Quinzenal	Não	≥ 14 h	Mensal
AG.03	2014	Sul	Exposto	Sim	PVC	Película	Quinzenal	Não	≥ 14 h	Semanal
AG.04	2014	Sul	Exposto	Sim	PVC	Película	Quinzenal	Não	≥ 14 h	Diária
AG.05	2014	Sul	Exposto	Não	PVC	Película	Quinzenal	Não	-	Diária
AG.06	2014	Oeste	Exposto	Sim	PVC	Película	Mensal	Não	≥ 10 e < 14 h	Semanal
AH.01	1987	Oeste	Exposto	Sim	Madeira	Verniz	Mensal	Não	≥ 14 h	Mensal
AH.02	1987	Este	Exposto	Sim	Madeira	Verniz	Mensal	Não	≥ 14 h	Mensal
AH.03	2001	Oeste	Exposto	Sim	Madeira	Verniz	Mensal	Aplicação de massa de vidraceiro	≥ 14 h	Mensal
AI.01	1978	Este	Exposto	Não	Madeira	Verniz	Semanal	Troca de vidro	-	Mensal
AI.02	1978	Sul	Protegido	Não	Madeira	Verniz	Semanal	Não	-	Mensal
AI.03	1978	Oeste	Exposto	Não	Madeira	Verniz	Inexistente	Não	-	Mensal
AI.04	1978	Norte	Exposto	Não	Madeira	Verniz	Semanal	Não	-	Mensal
AI.05	1982	Este	Exposto	Não	Madeira	Tinta	Quinzenal	Não	-	Semanal
AI.06	1997	Este	Exposto	Não	Madeira	Verniz	Quinzenal	Reparada há 20 anos	-	Diária
AI.07	1997	Sul	Exposto	Não	Madeira	Verniz	Quinzenal	Reparada há 20 anos	-	Diária
AI.08	1977	Sul	Exposto	Não	Madeira	Verniz	Inexistente	Não	-	Diária
AI.09	1977	Oeste	Exposto	Não	Madeira	Verniz	Inexistente	Não	-	Diária
AI.10	1995	Oeste	Exposto	Não	Madeira	Verniz	Mensal	Não	-	Diária
AI.11	1995	Sul	Exposto	Não	Madeira	Verniz	Mensal	Não	-	Diária
AI.12	1995	Este	Exposto	Não	Madeira	Verniz	Mensal	Não	-	Diária
AI.13	1998	Este	Exposto	Sim	Madeira	Verniz	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária

<b>Designação</b>	<b>Ano de instalação</b>	<b>Orientação da fachada</b>	<b>Exposição do vão</b>	<b>Condições de sombreamento</b>	<b>Material</b>	<b>Revestimento</b>	<b>Manutenção Simples</b>	<b>Intervenções posteriores</b>	<b>N.º de horas diárias com dispositivos de sombreamento</b>	<b>Frequência do uso da caixilharia</b>
Al.14	1998	Sul	Exposto	Sim	Madeira	Verniz	Semanal	Não	≥ 10 e < 14 h	Diária
Al.15	2008	Este	Exposto	Não	Madeira	Tinta	Semanal	Não	-	Diária
Al.16	2008	Sul	Exposto	Não	Madeira	Tinta	Semanal	Não	-	Diária
Al.17	2015	Sul	Exposto	Não	Madeira	Tinta	Semanal	Não	-	Diária
Al.18	2010	Norte	Exposto	Não	PVC	Lacagem	Semanal	Não	< 10 h	Mensal

- Casos excluídos posteriormente

## Anexo D - Caracterização do estado de degradação das caixilharias

Designação	E <sub>w</sub> (sem ponderação)	S <sub>w,c</sub> (sem ponderação)	E <sub>w</sub> (com ponderação)	S <sub>w,c</sub> (com ponderação)	Idade
A.01	200,61%	16,72%	165,09%	13,76%	34
A.02	219,37%	18,28%	198,60%	16,55%	34
A.03	213,39%	17,78%	170,98%	14,25%	34
A.04	171,39%	14,28%	193,80%	16,15%	34
A.05	241,07%	20,09%	120,24%	10,02%	29
A.06	277,38%	23,12%	159,46%	13,29%	34
A.07	424,04%	35,34%	147,63%	12,30%	34
B.01	479,00%	39,92%	118,79%	9,90%	32
B.02	80,63%	6,72%	8,06%	0,67%	32
B.03	200,10%	16,67%	20,01%	1,67%	32
B.04	108,42%	9,03%	10,84%	0,90%	32
B.05	458,70%	38,23%	373,77%	31,15%	32
B.06	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	11
B.07	253,91%	21,16%	155,94%	12,99%	32
C.01	624,25%	52,02%	482,28%	40,19%	36
C.02	609,27%	50,77%	442,63%	36,89%	36
C.03	500,88%	41,74%	374,33%	31,19%	36
C.04	429,05%	35,75%	301,72%	25,14%	36
C.05	659,56%	54,96%	355,54%	29,63%	36
C.06	509,05%	42,42%	519,31%	43,28%	36
C.07	490,78%	40,90%	534,45%	44,54%	36
C.08	590,96%	49,25%	336,83%	28,07%	36
C.09	500,50%	41,71%	436,65%	36,39%	36
C.10	391,89%	32,66%	189,44%	15,79%	36
C.11	639,38%	53,28%	313,44%	26,12%	36
D.01	327,42%	27,29%	148,76%	12,40%	32
D.02	322,49%	26,87%	178,57%	14,88%	32
D.03	477,16%	39,76%	634,81%	52,90%	32
D.04	395,00%	32,92%	296,42%	24,70%	32
D.05	279,38%	23,28%	297,18%	24,77%	32
D.06	460,18%	38,35%	451,77%	37,65%	32
E.01	148,57%	12,38%	28,57%	2,38%	19
E.02	249,21%	20,77%	68,76%	5,73%	19
E.03	85,00%	7,08%	20,86%	1,74%	5
E.04	50,00%	4,17%	5,00%	0,42%	5
F.01	128,88%	10,74%	76,79%	6,40%	25
F.02	204,75%	17,06%	101,30%	8,44%	25
F.03	214,02%	17,84%	58,11%	4,84%	25
G.01	122,32%	10,19%	38,66%	3,22%	25
G.02	55,71%	4,64%	32,79%	2,73%	25
G.03	158,15%	13,18%	91,91%	7,66%	25
G.04	101,48%	8,46%	49,11%	4,09%	25
G.05	81,01%	6,75%	46,93%	3,91%	25
G.06	111,21%	9,27%	22,23%	1,85%	25
H.01	118,91%	9,91%	21,05%	1,75%	21
H.02	158,12%	13,18%	26,83%	2,24%	21
H.03	147,96%	12,33%	24,20%	2,02%	21
H.04	170,70%	14,23%	34,58%	2,88%	20
I.01	431,46%	35,95%	103,61%	8,63%	24
I.02	131,69%	10,97%	87,12%	7,26%	24
I.03	268,86%	22,41%	83,10%	6,92%	24
I.04	175,84%	14,65%	36,28%	3,02%	24
I.05	475,27%	39,61%	116,48%	9,71%	24
J.01	519,43%	43,29%	195,66%	16,31%	33
J.02	567,17%	47,26%	156,26%	13,02%	33
J.03	303,35%	25,28%	153,62%	12,80%	33
J.04	266,89%	22,24%	123,95%	10,33%	33
J.05	217,17%	18,10%	66,98%	5,58%	33
J.06	163,55%	13,63%	73,82%	6,15%	33
K.01	20,83%	1,74%	2,08%	0,17%	1
L.01	108,24%	9,02%	18,39%	1,53%	6
L.02	102,35%	8,53%	15,34%	1,28%	9
L.03	81,07%	6,76%	14,48%	1,21%	9
L.04	71,53%	5,96%	10,33%	0,86%	9
L.05	72,54%	6,05%	11,92%	0,99%	9
L.06	149,36%	12,45%	35,41%	2,95%	9
L.07	70,89%	5,91%	23,28%	1,94%	6
M.01	212,38%	17,70%	120,80%	10,07%	30
M.02	180,68%	15,06%	84,27%	7,02%	30
M.03	139,88%	11,66%	25,89%	2,16%	30
M.04	116,54%	9,71%	28,79%	2,40%	30
N.01	48,41%	4,03%	14,52%	1,21%	14
N.02	259,29%	21,61%	71,64%	5,97%	21
N.03	108,42%	9,03%	52,62%	4,39%	14
N.04	147,98%	12,33%	29,84%	2,49%	14
N.05	136,14%	11,34%	29,47%	2,46%	14
N.06	98,89%	8,24%	20,52%	1,71%	14
N.07	214,75%	17,90%	147,35%	12,28%	21
O.01	68,77%	5,73%	19,12%	1,59%	25
O.02	84,38%	7,03%	59,31%	4,94%	30
O.03	43,81%	3,65%	5,67%	0,47%	1
O.04	141,67%	11,81%	32,50%	2,71%	9
O.05	72,95%	6,08%	16,97%	1,41%	9
P.01	66,25%	5,52%	64,38%	5,36%	17
P.02	87,25%	7,27%	76,98%	6,41%	17
Q.01	103,55%	8,63%	24,10%	2,01%	15
Q.02	74,11%	6,18%	14,64%	1,22%	15
Q.03	124,94%	10,41%	29,71%	2,48%	15
Q.04	109,35%	9,11%	24,12%	2,01%	15
R.01	183,91%	15,33%	86,89%	7,24%	30
R.02	81,48%	6,79%	95,56%	7,96%	30
R.03	279,86%	23,32%	140,21%	11,68%	30
R.04	214,70%	17,89%	64,41%	5,37%	26
S.01	189,34%	15,78%	52,60%	4,38%	17
S.02	58,93%	4,91%	17,68%	1,47%	17
S.03	94,21%	7,85%	68,26%	5,69%	17
S.04	68,10%	5,68%	14,40%	1,20%	17
S.05	68,25%	5,69%	13,72%	1,14%	17
S.06	138,85%	11,57%	53,45%	4,45%	17
S.07	50,00%	4,17%	29,21%	2,43%	17
S.08	95,68%	7,97%	46,26%	3,85%	17
S.09	58,15%	4,85%	20,75%	1,73%	17
S.10	65,43%	5,45%	23,39%	1,95%	7
T.01	150,00%	12,50%	45,00%	3,75%	14
T.02	152,46%	12,70%	45,49%	3,79%	14
T.03	153,13%	12,76%	45,63%	3,80%	14
T.04	152,22%	12,69%	45,44%	3,79%	14
T.05	70,24%	5,85%	11,12%	0,93%	14
U.01	318,08%	26,51%	248,85%	20,74%	35
U.02	306,11%	25,51%	238,77%	19,90%	35

Designação	E <sub>w</sub> (sem ponderação)	S <sub>w,c</sub> (sem ponderação)	E <sub>w</sub> (com ponderação)	S <sub>w,c</sub> (com ponderação)	Idade
U.03	251,45%	20,95%	290,32%	24,19%	32
U.04	318,41%	26,53%	293,75%	24,48%	32
V.01	249,32%	20,78%	217,30%	18,11%	35
V.02	267,17%	22,26%	221,77%	18,48%	35
V.03	255,68%	21,31%	218,00%	18,17%	32
V.04	397,00%	33,08%	171,89%	14,32%	32
W.01	154,08%	12,84%	146,72%	12,23%	34
W.02	228,71%	19,06%	117,29%	9,77%	34
W.03	241,28%	20,11%	141,90%	11,82%	34
X.01	39,78%	3,32%	14,45%	1,20%	19
X.02	54,29%	4,52%	18,86%	1,57%	19
X.03	110,10%	9,17%	28,75%	2,40%	19
X.04	45,70%	3,81%	17,46%	1,46%	19
X.05	110,98%	9,25%	32,73%	2,73%	19
X.06	75,98%	6,33%	26,93%	2,24%	19
Y.01	121,67%	10,14%	94,00%	7,83%	25
Y.02	287,06%	23,92%	81,43%	6,79%	25
Y.03	253,31%	21,11%	76,45%	6,37%	25
Y.04	245,69%	20,47%	74,92%	6,24%	25
Y.05	256,22%	21,35%	153,09%	12,76%	25
Z.01	30,86%	2,57%	4,88%	0,41%	9
Z.02	10,50%	0,88%	4,60%	0,38%	9
Z.03	23,16%	1,93%	6,95%	0,58%	9
AA.01	262,61%	21,88%	78,78%	6,57%	29
AA.02	334,79%	27,90%	99,60%	8,30%	29
AA.03	153,61%	12,80%	95,07%	7,92%	29
AB.01	107,69%	8,97%	58,79%	4,90%	10
AB.02	139,17%	11,60%	67,16%	5,60%	10
AB.03	140,74%	11,73%	86,20%	7,18%	10
AB.04	427,83%	35,65%	253,30%	21,11%	39
AC.01	138,14%	11,51%	41,44%	3,45%	10
AC.02	130,27%	10,86%	39,95%	3,33%	10
AC.03	136,70%	11,39%	42,17%	3,51%	10
AC.04	148,10%	12,34%	45,47%	3,79%	10
AD.01	150,13%	12,51%	124,18%	10,35%	30
AD.02	307,25%	25,60%	144,95%	12,08%	30
AD.03	5,65%	0,47%	1,69%	0,14%	3
AD.04	6,06%	0,51%	1,82%	0,15%	3
AD.05	4,55%	0,38%	1,36%	0,11%	3
AD.06	108,57%	9,05%	50,43%	4,20%	12
AD.07	144,29%	12,02%	73,18%	6,10%	12
AD.08	135,91%	11,33%	22,77%	1,90%	12
AD.09	140,71%	11,73%	23,51%	1,96%	12
AD.10	119,81%	9,98%	19,63%	1,64%	12
AD.11	143,66%	11,97%	23,43%	1,95%	12
AE.01	56,45%	4,70%	16,94%	1,41%	13
AE.02	94,35%	7,86%	23,95%	2,00%	13
AE.03	156,09%	13,01%	102,83%	8,57%	13
AE.04	53,23%	4,44%	15,97%	1,33%	13
AF.01	3,68%	0,31%	1,10%	0,09%	1
AF.02	4,65%	0,39%	1,40%	0,12%	1
AF.03	26,61%	2,22%	3,58%	0,30%	1
AG.01	2,14%	0,18%	0,64%	0,05%	3
AG.02	5,00%	0,42%	1,50%	0,13%	3
AG.03	7,50%	0,63%	2,25%	0,19%	3
AG.04	5,00%	0,42%	1,50%	0,13%	3
AG.05	47,78%	3,98%	6,78%	0,56%	3

Designação	E <sub>w</sub> (sem ponderação)	S <sub>w,c</sub> (sem ponderação)	E <sub>w</sub> (com ponderação)	S <sub>w,c</sub> (com ponderação)	Idade
AG.06	35,00%	2,92%	5,33%	0,44%	3
AH.01	403,06%	33,59%	258,47%	21,54%	30
AH.02	276,62%	23,05%	225,08%	18,76%	30
AH.03	195,51%	16,29%	77,52%	6,46%	16
AI.01	605,17%	50,43%	461,38%	38,45%	39
AI.02	618,39%	51,53%	480,11%	40,01%	39
AI.03	570,11%	47,51%	544,54%	45,38%	39
AI.04	410,33%	34,19%	401,98%	33,50%	39
AI.05	428,89%	35,74%	377,33%	31,44%	35
AI.06	165,00%	13,75%	112,17%	9,35%	20
AI.07	196,11%	16,34%	135,17%	11,26%	20
AI.08	540,82%	45,07%	500,69%	41,72%	40
AI.09	568,58%	47,38%	509,22%	42,44%	40
AI.10	259,90%	21,66%	191,33%	15,94%	22
AI.11	279,42%	23,28%	221,95%	18,50%	22
AI.12	207,22%	17,27%	167,44%	13,95%	22
AI.13	240,29%	20,02%	116,76%	9,73%	19
AI.14	170,04%	14,17%	123,41%	10,28%	19
AI.15	70,68%	5,89%	25,47%	2,12%	9
AI.16	129,10%	10,76%	42,60%	3,55%	9
AI.17	50,61%	4,22%	11,46%	0,95%	2
AI.18	46,92%	3,91%	9,92%	0,83%	7

 - Casos excluídos posteriormente