



Modelo de gestão técnica de edifícios baseado no custo do ciclo de vida

Caso de estudo das fachadas de edifícios do bairro de Alvalade

Pedro de Almeida Costa Fonseca Moreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Vítor Faria e Sousa

Júri

Presidente: Prof. Albano Luís Rebelo da Silva das Neves e Sousa

Orientador: Prof. Vítor Faria e Sousa

Vogal: Prof. Carlos Paulo Novais Oliveira da Silva Cruz

Maio de 2018

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.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família pelo esforço realizado em prol da minha educação e pelo apoio, conselhos e encorajamento essenciais durante esta etapa da minha vida. Em especial, agradeço ao meu avô pelo exemplo de vida e pelo apoio dado em períodos de maior dificuldade.

Agradeço também aos meus amigos, por terem vivido e partilhado comigo os melhores e os piores momentos e com quem espero vir a partilhar muitos mais momentos marcantes ao longo das nossas vidas.

Agradeço ainda ao meu orientador, Prof. Vítor Faria e Sousa, com quem tive o privilégio de trabalhar, pelo apoio constante ao longo da tese e pelos conselhos dados.

Resumo

Nos dias de hoje existe uma grande limitação em termos dos recursos financeiros necessários para a manutenção e reabilitação de fachadas. Desta forma, torna-se essencial gerir estes recursos de forma eficiente, procurando minimizar os gastos necessários com estas manutenções.

Este estudo visa contribuir para a otimização destes recursos, através de uma análise à degradação de fachadas de edifícios e aos custos necessários para as reparar. Para tal, realizou-se uma pesquisa ao histórico de intervenções em fachadas de 49 edifícios situados no bairro de Alvalade, construídos na mesma época e com a mesma arquitetura. Depois de definidos e atribuídos 4 níveis de degradação às fachadas analisadas, os dados recolhidos foram modelados através de curvas de Herz, matriz de transição, regressão logística ordinal e regressão multinomial logística e analisados do ponto de vista financeiro. Concluiu-se que o nível 3 é aquele que se encontra na melhor fase para poder ser intervencionado.

Serão necessários desenvolvimentos futuros desta metodologia, que analisa amostras homogéneas de fachadas, com vista a perceber de que forma a heterogeneidade de uma amostra, utilizada em diversos estudos sobre a degradação de fachadas, pode influenciar os resultados de previsão da degradação.

Palavras-Chave

Modelo de Degradação; Níveis de Degradação; Curvas de Herz; Matriz de Transição; Regressão Multinomial Logística; Análise Financeira

Abstract

Nowadays there is a great limitation in terms of the financial resources necessary for the maintenance and rehabilitation of facades. In this way, it is essential to manage these resources in an efficient way, trying to minimize the necessary expenses with these maintenances.

This study aims to contribute to the optimization of these resources, through an analysis of the degradation of building facades and the costs necessary to repair them. For that, a research was done on the history of interventions on facades of 49 buildings located in the Alvalade neighborhood, built at the same time and with the same architecture. After being defined and assigned 4 levels of degradation to the facades analyzed, the collected data were modeled through Herz curves, transition matrix, ordinal logistic regression and multinomial logistic regression and analyzed from a financial point of view. From this analysis it was concluded that level 3 presents the best conditions for a facade intervention.

Future developments of this methodology, which analyzes homogeneous facade samples, will be necessary in order to understand how heterogeneity of a sample, used in several studies on facade degradation, can influence the prediction results of the degradation.

Keywords

Degradation Model; Degradation Levels; Herz curves; Transition Matrix; Multinomial Regression Logistics; Financial analysis

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Motivação e objetivo	2
1.3 Organização da tese	2
2 Revisão de conhecimentos	5
2.1 Aspectos gerais	5
2.2 Previsão da vida útil	6
2.2.1 Enquadramento	6
2.2.2 Conceitos	9
2.2.3 Modelos de previsão da vida útil	12
2.2.4 Modelos empíricos (ou estatísticos)	18
2.3 Análise financeira	26
2.3.1 Orçamentação	26
2.3.2 Avaliação financeira	28
3 Metodologia aplicada	31
3.1 Abordagem metodológica	31
3.1.1 Aspectos gerais	31
3.1.2 Âmbito do estudo	31
3.1.3 Recolha de informação	31
3.1.4 Modelação	32
3.2 Caso de Estudo	33
3.2.1 Âmbito do estudo	33
3.2.2 Recolha de informação	34
3.2.3 Modelação da degradação	36
3.2.4 Análise financeira	42
4 Análise dos resultados	45
4.1 Descrição geral da amostra	45
4.2 Influência da orientação na degradação	50

4.3	Curva de Herz.....	53
4.4	Matriz de transição	54
4.5	Regressão logística	56
4.6	Análise comparativa entre modelos	60
4.7	Análise financeira	61
4.7.1	Cenário 1 – Valores máximos de transição entre níveis	63
4.7.2	Cenário 2 – Valores médios entre transições	65
4.7.3	Matriz de transição (Cenário 1) vs. Curva de Herz (Cenário 2)	68
5	Conclusões.....	71
	Referências Bibliográficas	73
	Anexo 1	- 1 -
	Anexo 2.....	- 3 -

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Degradação esquemática dos diferentes grupos de propriedades (da Costa, 2011 - adaptado de Moser, 1999)	11
Figura 2.2 - Metodologia Sistemática de previsão da vida útil (Santos, 2010 - adaptado de ISO 15686-2, 2001).....	14
Figura 2.3 - Procedimento geral das metodologias de previsão da vida útil de materiais e componentes de construção (Paulo, 2009)	15
Figura 2.4 - Andamento de uma curva de Gompertz (adaptado de Garrido, 2010)	20
Figura 2.5 - Andamento de uma curva potencial (Garrido, 2010).....	21
Figura 2.6 - Andamento das curvas de Weibull (Garrido, 2010).....	22
Figura 2.7 - Função de deterioração de Markov, adaptado de Hovde e Moser (2004) (Santos(2010))	25
Figura 3.1 - Área de Estudo (imagem retirada do Google Maps e adaptada, 2017)	34
Figura 4.1 - Número de intervenções ao longo dos anos	46
Figura 4.2 - Número e frequência de intervenções ao longo dos anos	46
Figura 4.3 - Número de anos entre intervenções em cada nível de degradação	48
Figura 4.4 - Curvas de Transição entre Níveis de degradação	53
Figura 4.5 - Probabilidade de Transição	56
Figura 4.6 - Probabilidades associadas à regressão logística ordinal	59
Figura 4.7 - Probabilidade associada à regressão multinomial logística	59
Figura 4.8 - Evolução do valor de Ct anual	62
Figura 4.9 - CAL (Cenário 1)	64
Figura 4.10 - CAE (Cenário 1).....	65
Figura 4.11 - CAL (Cenário 2)	67
Figura 4.12 - CAE (Cenário 2).....	67
Figura 4.13 - Comparação entre CAL de modelos mais favoráveis	68
Figura 4.14 - Comparação entre CAE de modelos mais favoráveis	69

Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Normas da série ISO 15686.....	8
Quadro 2.2 - Tipos de obsolescência (adaptado de ISO 15686-1)	10
Quadro 2.3 - Duração mínima da vida de projeto (ISO 15686-1)	11
Quadro 2.4 - Agentes de degradação (Adaptado de ISO 15686-1)	16
Quadro 2.5 - Modelos empíricos mais comuns na determinação da vida útil de fachadas.....	18
Quadro 3.1 - Resumo dos níveis de degradação	37
Quadro 4.1 - Número de edifícios analisados	45
Quadro 4.2 - Orientações Solares dos edifícios analisados	45
Quadro 4.3 - Intervalos de tempo entre intervenções.....	47
Quadro 4.4 - Número de edifícios em cada nível de degradação	47
Quadro 4.5 - Avaliação estatística das idades das fachadas por nível de degradação e orientação solar.	48
Quadro 4.6 - ANOVA (Nível 1)	50
Quadro 4.7 - ANOVA - Nível 2	50
Quadro 4.8 - ANOVA (Nível 3)	50
Quadro 4.9 - ANOVA (Nível 4)	51
Quadro 4.10 - Testes Robustos de Igualdade de Médias (Nível 2).....	51
Quadro 4.11 - Comparações Múltiplas considerando a idade como variável dependente (Nível 2)....	51
Quadro 4.12 - Matriz de Transição entre níveis de degradação	54
Quadro 4.13 - Informações de ajuste do modelo logístico.....	57
Quadro 4.14 - Adequação do ajuste do modelo logístico	57
Quadro 4.15 - Estimativas de Parâmetro	57
Quadro 4.16 - Teste de Linhas Paralelas.....	57
Quadro 4.17 - Informações de ajuste do modelo multinomial.....	58
Quadro 4.18 - Adequação do ajuste multinomial	58
Quadro 4.19 - Pseudo R quadrado do modelo multinomial	58
Quadro 4.20 - Estimativas de Parâmetro (Nível 4 como nível de referência).....	58
Quadro 4.21 - Percentagens de acurácia do modelo multinomial	59
Quadro 4.22 - Idade máxima para cada nível de degradação (Multinomial Logística vs. Logística Ordinal).....	60
Quadro 4.23 - Comparação de transição entre níveis de metade da amostra (Curva de Herz vs. Matriz de Transição).....	60
Quadro 4.24 - Coeficientes a aplicar na fórmula de revisão de preços para uma categoria F05.....	61
Quadro 4.25 - Custo de intervenção em cada nível de degradação	62
Quadro 4.26 - Idades máximas nos diferentes modelos.....	63
Quadro 4.27 - Valores de CAL e CAE (Cenário 1)	64
Quadro 4.28 - Idades médias nos diferentes modelos	66
Quadro 4.29 - Valores de CAL e CAE (Cenário 2)	66

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O stock da construção representa mais de 50% da riqueza nacional dos países desenvolvidos (Long, Henderson, & Montgomery, 2001). No entanto, este encontra-se frequentemente muito deteriorado, desde que foi adotada, há já muitos anos, uma postura de “construir e deixar estar” (Haagenrud, 2004) (Silva, Gaspar, & de Brito, 2014).

Sendo os recursos financeiros para a manutenção e reabilitação das infraestruturas sempre limitados, para minimizar esta situação há a necessidade de os gerir de forma eficiente. Tal passa, em grande medida, pela capacidade de planear as intervenções mais adequadas ao longo da vida útil das mesmas (Costa et al., 2012). Uma opção para otimizar estes planos de manutenção é entender o modo como os diferentes elementos da construção se degradam e identificar o momento e a forma como devem ser intervencionados (Talon et al., 2005) (Silva, Gaspar, & de Brito, 2014).

Utilizando métodos de previsão de vida útil é possível definir planos de manutenção preventiva, melhorando o desempenho das construções e reduzindo custos (Dias et al., 2014).

Por esta mesma razão, nas últimas décadas os modelos de previsão da vida útil das construções e dos materiais têm sido objeto de investigações de diversas entidades como a CIB (*Conseil International du Bâtiment*), a RILEM (*Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages*) ou a ISO (*International Organization for Standardization*).

Os materiais de construção, ao contrário dos materiais aplicados noutras indústrias, são utilizados durante longos períodos de tempo, o que faz com que a fase de utilização tenha uma maior preponderância na avaliação do ciclo de vida. No entanto, o facto de numa construção existirem tipicamente materiais com diferentes longevidades temporais implica que a avaliação da vida útil seja feita de forma independente para esses diferentes materiais.

Um dos elementos não estruturais de uma construção que mais se degrada com o tempo são os revestimentos exteriores de edifícios. Estes representam a primeira camada que separa os espaços interiores dos agentes ambientais e são, por essa razão, particularmente propensos a falhas e defeitos com consequências diretas em termos da qualidade do espaço urbano, do conforto dos utilizadores e de custos de reparação e manutenção (Kirkham & Boussabaine, 2005) (Gaspar & de Brito, 2008).

A necessidade de manutenção de revestimentos de fachadas é uma resultante complexa de (Chew & de Silva, 2004) (Chew et al., 2006):

- seleção variada de materiais, sistemas e design;
- variedade de performance;
- diferentes riscos de falha associados aos mesmos.

Esta complexidade de resultados para o período entre manutenções, onde se incluem a limpeza, a reparação ou a substituição dos revestimentos leva a que esta temática seja objeto de variadíssimos estudos nos últimos anos.

Segundo dados dos Censos 2011 (Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2012), cerca de 84% do universo de revestimentos em Portugal é em reboco tradicional ou marmorite, pelo que o estudo da vida útil e a elaboração de modelos de degradação destes materiais são os mais relevantes em termos nacionais e serão objeto de estudo da presente dissertação.

1.2 Motivação e objetivo

O ciclo de vida dos edifícios compreende várias etapas que vão desde a sua construção, à sua utilização e por último à demolição ou reabilitação. Na fase de utilização, existem diversas ações que podem ser realizadas para prolongar a vida útil dos edifícios, nomeadamente através da intervenção em componentes dos edifícios que têm períodos de degradação menores. Entre esses componentes dos edifícios estão as fachadas.

A presente dissertação pretende contribuir para o estudo das intervenções em fachadas de edifícios e para a definição do melhor momento, do ponto de vista técnico e económico, para a realização dessa mesma intervenção.

Para isso, será desenvolvida uma metodologia de análise, que dividirá as fachadas por níveis de degradação e analisará, para cada um destes níveis, o período médio de anos necessários para que a fachada atinja essa degradação e ainda o seu custo de reparação. Desta forma, será possível determinar se é mais compensatório intervir em períodos de tempo menores e com custos igualmente menores ou se, por outro lado, é preferível prolongar o período de degradação das fachadas e realizar intervenções mais profundas e conseqüentemente, mais dispendiosas.

1.3 Organização da tese

Este documento está organizado em cinco capítulos. O primeiro capítulo, a Introdução, pretende fazer um enquadramento da temática e definir os objetivos do estudo a realizar. O segundo capítulo denomina-se Revisão de Conhecimentos e aborda a evolução histórica e conceitos relacionados com a previsão da vida útil e com a análise financeira.

No terceiro capítulo, Metodologia Aplicada, é definida a metodologia geral da análise, onde se definem o âmbito do estudo, os diferentes tipos de recolha de informação e a modelação, e aplicados estes conceitos ao caso de estudo visado nesta dissertação. Neste capítulo apresentam-se e enquadram-se na metodologia os dados obtidos.

Posteriormente, é apresentado o capítulo Análise de Resultados, onde são apresentados gráficos e quadros com os resultados obtidos, do ponto de vista estatístico e financeiro, e onde se analisam os

mesmos. No último capítulo são apresentadas as conclusões gerais do trabalho desenvolvido, e são confrontados os objetivos previstos no trabalho com os resultados finais obtidos, ao mesmo tempo que são sugeridas algumas orientações para futuros desenvolvimentos da metodologia apresentada.

2 Revisão de conhecimentos

2.1 Aspectos gerais

Nas últimas décadas, tem havido por parte de diversas instituições a nível mundial uma maior preocupação com a questão da sustentabilidade, o que resultou na adoção de várias medidas de carácter político e económico de forma a diminuir o desperdício existente em diversas indústrias e a melhorar as tomadas de decisão do ponto de vista económico. Brundtland (1987) definiu desenvolvimento sustentável como “um desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”.

A preocupação com estas questões conduziu à definição de uma meta global de sustentabilidade na cimeira das Nações Unidas de 1993, que teve lugar no Rio de Janeiro, Brasil, e da qual resultou a Agenda 21. Neste documento ficou expresso um plano de ação, visando todos os setores da atividade humana, de forma a reduzir os impactos da mesma no ambiente e a promover a adoção de padrões de atividade sustentáveis.

A indústria da construção é tipicamente uma das maiores indústrias quer dos países desenvolvidos, quer dos países em desenvolvimento em termos de investimento, emprego e em percentagem do PIB (Produto Interno Bruto). Consequentemente, é de prever que o impacto da indústria da construção no ambiente seja considerável, particularmente no que diz respeito à perda de solo e terras agrícolas, à perda de florestas e terras selvagens, à poluição do ar e à perda de fontes de energia não renováveis e minerais. (Spence & Mulligan, 1995).

De acordo com Levin (1997), o sector da construção é responsável por consumos consideráveis em alguns dos pontos mais críticos em termos ambientais, variando entre 12% no uso de terreno e 42% em termos de consumo de energia, passando pelo consumo de materiais (30%), água (25%), entre outros.

Uher e Lawson (1998) consideram que estas percentagens demonstram claramente que a indústria da construção tem um peso muito significativo nas questões ambientais, havendo uma necessidade de reorganizar o setor de forma a reduzir significativamente o seu impacto.

Também Pearce (2003) considera que a indústria da construção é uma das indústrias mais importantes neste contexto de desenvolvimento sustentável, devido à influência do ambiente construído na vida das populações e no desenvolvimento económico.

Para Lawson (1992) e Wyatt (1994), o conceito de construção sustentável deve fazer uma avaliação “do início ao fim” o que inclui, para além da construção, a gestão de manutenção de um edifício durante a sua vida útil e, eventualmente, a desconstrução e reciclagem de recursos, de forma a reduzir a quantidade de resíduos geralmente associados à demolição.

Segundo Balaras et al. (2005), o *stock* de edifícios existente na Europa está a envelhecer a um ritmo acelerado, por vezes com elevados níveis de degradação. Refere o mesmo autor que em 2005, cerca de 70% dos edifícios residenciais tinham mais de 30 anos e cerca de 35% mais de 50 anos.

Flores-Colen, de Brito e Freitas (2010) consideram que dentro da indústria da construção, as estratégias de reabilitação e manutenção devem otimizar os benefícios sociais e económicos das construções. O planeamento desses trabalhos é alcançado pela previsão dos momentos em que os elementos críticos dos ativos de construção atingem níveis de degradação que excedem os valores aceitáveis (Flores-Colen & de Brito, 2010). Para ser possível fazer tais previsões, devem ser desenvolvidos métodos de previsão da vida útil dos materiais e componentes da construção (Costa, Paulo, Branco, & de Brito, 2012).

Para prevenir a degradação e a possível falha de elementos dos edifícios, Flores-Colen e de Brito (2010) propõe estratégias de manutenção, considerando que as mesmas são essenciais para controlar as primeiras fases de degradação. As ações de manutenção podem ser preventivas ou corretivas. Manutenção preventiva concerne a esquematização do plano de manutenção, e a manutenção corretiva as intervenções reativas, em resposta a uma falha (Motawa & Almarshad, 2013).

A manutenção periódica dos edifícios torna-se no entanto inadequada, face às dificuldades económicas que se vivem um pouco por toda a Europa. Apesar disto, de acordo com Mejri et al. (2011) uma avaliação eficiente da vida útil dos edifícios e componentes pode conduzir a uma maior precisão dos planos de manutenção, adicionando valor (por incremento de longevidade) e ainda conduzir a uma gestão mais racional dos recursos investidos ao longo da vida útil (Dias et al., 2014).

A previsão da vida útil dos edifícios torna-se bastante complexa devido à definição dos requisitos mínimos de desempenho que conduzem à decisão de intervenção, uma vez que dependem de questões técnicas, económicas ou sociais. Segundo um estudo empírico realizado por Aikivuori (1999), apenas em 17% dos casos os decisores definiram as ações de manutenção em função da deterioração dos edifícios. Neste estudo, o autor afirma que as ações de manutenção foram influenciadas por uma perceção subjetiva, e que raramente dependem de fatores técnicos ou económicos racionais.

2.2 Previsão da vida útil

2.2.1 Enquadramento

Nos últimos anos, os métodos de previsão da vida útil de materiais e componentes da construção têm tido particular atenção por parte de várias entidades como a CIB, RILEM ou ISO.

A CIB criou comissões para estudar diversas áreas de interesse como *“Performance concept in building”* (W60), *“Maintenance management and modernization of buildings facilities”* (W70), *“Prediction of service life of building materials and components”* (W080), *“Building pathology”* (W86) e *“Design for Durability”* (W094). Destas comissões, destaca-se, pelo objeto de estudo da presente dissertação, a CIB W080, que tem como objetivo promover a cooperação internacional na previsão da vida útil de

materiais e componentes da construção, identificando metodologias sistemáticas de avaliação e estimativa da vida útil, seja através de testes, modelagem ou outros.

Muito do trabalho desta comissão é feito em parceria com a RILEM, das quais se destacam a CIB W080/RILEM 71-PSL, CIB W080/RILEM 100-TSL e CIB W080/RILEM 175-SLM. Da CIB W080/RILEM 71-PSL resultaram os trabalhos de Masters e Brandt, nos quais foi desenvolvida uma metodologia geral de previsão da vida útil de materiais e componentes e foram identificadas algumas necessidades de pesquisa na área de estudo (Masters & Brandt, Prediction of service life of building materials and components, 1987) (Masters & Brandt, 1989). Do trabalho desenvolvido pela CIB W080/RILEM 100-TSL, resultou mais uma contribuição para a previsão da vida útil, na qual foi explorada a utilização de dados recolhidos de exposições em serviço. Estes estudos foram apresentados por Sjöström e Brandt (1991).

Mais recentemente foi criada a comissão CIB W080/RILEM 175-SLM, com o objetivo de desenvolver guias, métodos e técnicas que permitam selecionar a ferramenta da previsão da vida útil mais apropriada em cada estudo. Desta comissão resultaram os trabalhos de Hovde (2004) e Moser (2004).

Também de forma independente, a RILEM publicou uma recomendação, em 1989, com o título “*Systematic methodology for service life prediction of building materials and components*” para a previsão da vida útil de materiais e componentes.

Para além do trabalho destas duas organizações – CIB e RILEM – outras normas e métodos foram sendo desenvolvidos ao longo das últimas décadas, com o propósito de dar resposta à problemática da previsão da vida útil. Em 1992, foi publicada a norma 7543 “*British guide to durability of building element, products and components*”, descrevendo vários métodos de previsão da vida útil de materiais e componentes. Segundo esta norma, a previsão da vida útil pode ser feita através:

- da experiência obtida, com construções iguais ou semelhantes, submetidas a condições climatéricas similares;
- da avaliação do nível de degradação dos elementos expostos durante um curto período de tempo, estimando um valor limite para a durabilidade;
- de ensaios de envelhecimento acelerado.

Posteriormente, em 1993, o *Architectural Institute of Japan* propôs um método para uma previsão da vida útil preliminar, baseada numa expressão fatorial. Este método foi posteriormente adotado pela ISO (Quadro 2.1), para a elaboração da norma ISO 15686, Parte 1, em 2000, e Parte 2, em 2001 (estes documentos foram entretanto revistos em 2011 e 2012, respetivamente). Esta norma é nos dias de hoje considerada a principal referência das metodologias de previsão da vida útil de materiais e componentes de construções.

Também em outros países tem havido uma preocupação com a questão da previsão da vida útil de materiais e componentes da construção, nomeadamente no Canadá (“Standard S478: *Guideline on*

durability in buildings”), Austrália (“*Guideline on durability in buildings*”) e Nova Zelândia (*New Zealand Building Code*).

Quadro 2.1 - Normas da série ISO 15686

Norma	Título	Descrição	Notas
ISO 15686-1:2011	Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 1: General principles and framework	Identifica e estabelece princípios gerais para o planeamento da vida útil e um método sistemático para a realização do planeamento da vida útil de uma construção;	
ISO 15686-2:2012	Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 2: Service life prediction procedures	Descreve procedimentos que facilitam as previsões de vida útil dos componentes de construção, com base no desempenho técnico e funcional;	Revisto e confirmado em 2013
ISO 15686-3:2002	Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 3: Performance audits and reviews	Descreve a abordagem e procedimentos para a implementação do planeamento da vida útil, nas várias fases do ciclo de vida do património construído;	Revisto e confirmado em 2012
ISO 15686-4:2014	Building Construction -- Service Life Planning -- Part 4: Service Life Planning using Building Information Modelling	Requisitos e formatos de dados utilizados na previsão da vida útil, referentes aos ambientes e condições em serviço;	
ISO/PRF 15686-5	Buildings and constructed assets -- Service-life planning -- Part 5: Life-cycle costing	Fornecer diretrizes para a realização de análises de custo de ciclo de vida (LCC) de ativos construídos e componentes.	Nova versão em desenvolvimento (edição anterior: 2008)
ISO 15686-7:2017	Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice	Fornecer indicações para a avaliação de desempenho e <i>feedback</i> relativo aos dados de vida útil com base em situações de exposição real em condições de serviço;	
ISO 15686-8:2008	Buildings and constructed assets -- Service-life planning -- Part 8: Reference service life and service-life estimation	Indicações para a obtenção de valores da vida útil de referência (RSL) e da estimativa da vida útil (ESL) para utilizações particulares, e uso do método fatorial;	Revisto e confirmado em 2012
ISO/TS 15686-9:2008	Buildings and constructed assets -- Service-life planning -- Part 9: Guidance on assessment of service-life data	Guia para a obtenção e apresentação de valores de RSL, aplicável a produtores de materiais e componentes de construção;	Revisto e confirmado em 2016
ISO 15686-10:2010	Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 10: When to assess functional performance	Indicações sobre a necessidade de especificar ou verificar o cumprimento de requisitos de desempenho funcional do património construído;	
ISO/TR 15686-11:2014	Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 11: Terminology	Compilação dos termos e definições de conceitos padronizados para estabelecer um vocabulário aplicável aos aspetos de construção e uso de um edifício e ao planeamento da vida útil.	

A nível nacional, o RGEU (Regulamento Geral das Edificações Urbanas) tem sofrido alterações desde o ano em que foi criado, em 1951, com vista a adaptar-se às questões da previsão da vida útil, englobando conceitos como a vida útil, a manutenção e ainda a durabilidade dos edifícios.

2.2.2 Conceitos

Nos últimos anos, face à crescente preocupação com os mecanismos de previsão da vida útil, muitas têm sido as tentativas de criar modelos que possam ser adotados facilmente a uma generalidade de casos.

No entanto, a imprevisibilidade de deterioração das construções sujeitas a agentes físicos é bastante elevada, o que dificulta a criação destes modelos.

De facto, segundo Silva et al. (2012), o processo de degradação dos materiais e componentes de um edifício por ações externas é bastante complexo. O fenómeno começa logo que a construção é terminada, evolui ao longo do tempo e contribui para o fim da vida útil (de acordo com as condições de exposição, projeto, tipo de manutenção e características dos edifícios). No entanto, ainda segundo os mesmos autores, mesmo para condições iniciais, mecanismos de degradação e requisitos de desempenho idênticos, existem muitos resultados possíveis com diferentes probabilidades de ocorrência.

Esta dificuldade tem levado vários autores a estudarem o tema e a procurarem definições para conceitos como a durabilidade ou a vida útil.

A definição de vida útil não reúne um consenso geral, sendo a definição deste termo abordada por diversos autores e varia consoante o contexto em que se enquadra, os requisitos mínimos exigidos e os critérios utilizados na sua definição. Adicionalmente, associado ao conceito de vida útil, aparecem frequentemente os de durabilidade e obsolescência, sendo muitas vezes utilizados como sinónimos.

Segundo a norma 15686-1 (ISO, 2011), a vida útil é definida como o período de tempo, após instalação, durante o qual o edifício ou as suas partes atingem ou excedem os requisitos de desempenho, sendo os requisitos de desempenho o nível mínimo aceitável de uma propriedade crítica.

Por seu lado, a durabilidade é a capacidade de um edifício ou de uma parte de um edifício desempenhar a sua função durante um determinado intervalo de tempo, sob a ação dos agentes presentes em serviço, acrescentando que não é uma propriedade intrínseca de um produto ou componentes, mas sim uma característica que depende das condições a que está sujeito, em serviço (ISO, 2011).

A obsolescência significa a perda da capacidade de um elemento em cumprir satisfatoriamente as mudanças das exigências de desempenho, podendo esta ser funcional, tecnológica ou económica (Quadro 2.2). A obsolescência funcional ocorre quando um elemento de construção pode ser substituído por outro que desempenhe a mesma função de forma semelhante ou melhor. A obsolescência tecnológica ocorre quando existem soluções tecnologicamente mais evoluídas para

desempenhar a mesma função e com melhor desempenho. Já a obsolescência económica ocorre quando a manutenção ou reabilitação se tornam economicamente inviáveis (ISO, 2011).

Quadro 2.2 - Tipos de obsolescência (adaptado de ISO 15686-1)

Tipo de Obsolescência	Ocorrência Típica
Funcional	A função em causa já não é requerida;
Tecnológica	- Existem alternativas atuais com melhor desempenho; - Mudança de padrão de uso;
Económica	Item ainda funcional mas menos eficiente e económico que novas alternativas.

O estudo da obsolescência é bastante complexo, uma vez que a sua determinação depende de fatores subjetivos. É impossível prever o exato momento em que uma construção se torna obsoleta, uma vez que depende de fatores variáveis ao longo do tempo, como a moda, ou de fatores geográficos como a mentalidade da sociedade e a cultura.

Moser (2004) refere que todos os métodos de previsão de vida útil exigem definições claras do fim da vida útil. Este não é, contudo, um valor universal e facilmente definido. Em termos gerais, o fim de vida útil é o momento em que a função para a qual a construção e os seus componentes foram previstos deixa de ser cumprida. Assim, o autor divide a definição de fim da vida útil em três causas principais – Segurança, Função e Aparência – considerando o fim da vida útil como o momento em que uma destas três causas deixa de ser cumprida. Moser define-as como:

- segurança: a integridade do elemento de construção é mantida no nível padrão de segurança;
- função: a função desejada é cumprida;
- aparência: a aparência esperada é verificada.

O critério da segurança é o que tem o maior nível de exigência, uma vez que é um fator fundamental numa construção. Por outro lado, a questão da aparência é aquela que mais rapidamente atinge os níveis mínimos, sendo muitas vezes o fator determinante para o fim da vida útil (Figura 2.1).

Também Aikivuori (1999) procurou uma definição para o fim da vida útil. Para o autor, esta ocorre quando o edifício deixa de funcionar como requerido, o que pode resultar de três causas:

- falha resultante de mudança(s) no desempenho (falha baseada na deterioração);
- falha resultante de mudança(s) no(s) requisito(s) (falha baseada na obsolescência);
- falha resultante de mudança(s) de utilização.

Segundo a norma ISO 15686-1 (2011), a vida útil em projeto é a vida útil considerada pelo projetista como base para as suas especificações.

Desta forma, este conceito está relacionado com os requisitos de durabilidade pretendidos no edifício, definidos pelo projetista ou utilizador. Dada a complexidade de cada edifício, é impossível determinar a vida útil de uma forma generalizada para todos os projetos, pelo que é mais viável determinar valores para a vida útil de alguns componentes das construções, considerando as características de cada projeto.

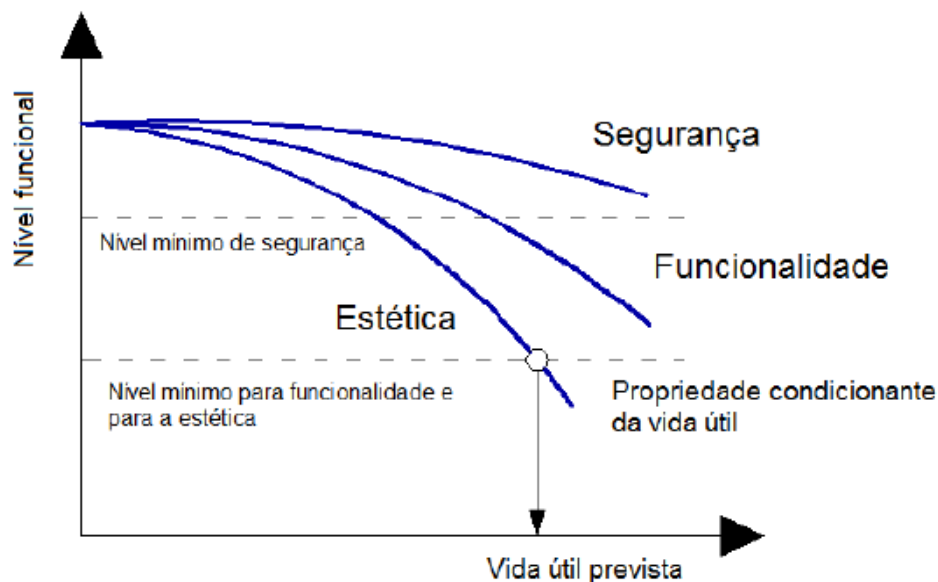


Figura 2.1 - Degradação esquemática dos diferentes grupos de propriedades (da Costa, 2011 - adaptado de Moser, 1999)

Brand (1994) descreveu a importância de especificar a vida útil de várias partes de um edifício de tal forma que qualquer peça possa ser facilmente reparada ou substituída caso a sua vida útil seja inferior à do edifício.

Desta forma, diversas entidades internacionais como a União Europeia (EOTA 1999) e o Canadá (CSA 478-95) criaram tabelas de referência para a vida útil de diferentes componentes de um projeto.

Também a norma ISO 15686-1 define valores para a vida mínima de projeto de diferentes componentes dos edifícios dependendo da vida útil do edifício e da facilidade de substituir os elementos (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 - Duração mínima da vida de projeto (ISO 15686-1)

Vida útil de projeto do edifício	Elementos inacessíveis ou estruturais	Elementos de manutenção difícil ou onerosa	Elementos facilmente substituíveis	Instalações de serviços e trabalhos exteriores
Ilimitada	Ilimitada	100	40	25
150	150	100	40	25
100	100	100	40	25
60	60	60	40	25
25	25	25	25	25
15	15	15	15	15
10	10	10	10	10

Para Brito (2001) a definição de fim de vida útil é muitas vezes um problema de índole económica em vez de técnica.

2.2.3 Modelos de previsão da vida útil

A atenção de que tem sido alvo, nos últimos anos, o estudo de mecanismos de previsão da vida útil, como mencionado acima, sobretudo do ponto de vista teórico, tem resultado numa série de requisitos técnicos que se consideram importantes para os desenvolver. Face ao crescente número de estudos, a nível internacional, estes requisitos têm-se tornado cada vez mais específicos.

Nos documentos resultantes destes estudos são também dadas recomendações acerca dos dados de entrada necessários para realizar o método em questão, de forma a que o mesmo seja seguro e fiável. Estes documentos fazem, no entanto, notar que a previsão da durabilidade e da vida útil está sujeita a muitas variáveis, pelo que não se trata de uma ciência exata. Desta forma, os resultados devem ser tratados como uma indicação do que será a vida útil, quando se têm em consideração os fatores e as circunstâncias reais que influenciam a durabilidade e vida útil (Hovde, 2002).

Num artigo sobre a previsão da vida útil, Bourke e Davies (1997) apresentaram uma lista de características essenciais e/ou desejáveis de um sistema de previsão da vida útil. São elas:

- fácil de aprender;
- fácil de usar;
- rápido de usar;
- exato;
- de fácil atualização;
- fácil de comunicar;
- adaptável;
- suportado por dados;
- relacionado com métodos de projeto e ferramentas existentes;
- livre de excesso de burocracia;
- deve reconhecer a importância da inovação;
- relevante para vários ambientes;
- aceitável para os profissionais e clientes;
- deve refletir os conhecimentos atuais;
- nível de flexibilidade de sofisticação para qualquer esquema ou planeamento detalhado.

De acordo com Abraham e Wirahadikusumah (1999) e Mehle *et al.* (2001) os métodos de previsão podem ser divididos, dependendo do tipo de resultados, em modelos determinísticos ou modelos estocásticos. Os primeiros fornecem estimativas com valores únicos, enquanto que os segundos determinam intervalos de valores, incluindo uma incerteza ou variabilidade aos resultados obtidos.

Dentro destas duas abordagens, os mesmos autores consideram que os modelos de previsão podem ser divididos em:

- modelos empíricos;
- modelos mecanicistas.

Os modelos empíricos usam ferramentas e métodos estatísticos para obterem relações entre variáveis conhecidas e as condições dos elementos em estudo, com base em registos históricos. Estes modelos assumem que o padrão de deterioração se manterá constante ao longo do tempo.

Por outro lado, os modelos mecanicistas têm como propósito representar os fenómenos físicos, químicos ou biológicos que ocorrem, sendo relevantes para explicar as suas condições.

Segundo os mesmos autores, existe ainda um terceiro tipo de modelos de previsão – os modelos baseados em peritos – que define as relações entre os dados e os resultados obtidos com base na opinião de especialistas. No entanto, estes têm sido pouco explorados.

A norma ISO 15686-2 propõe também um método sistemático de previsão da vida útil de componentes e materiais, expostos a diferentes condições. Como está representado na Figura 2.2, segundo a ISO 15686-2 (2012) o procedimento básico para o problema da previsão da vida útil de materiais e componentes inclui a identificação da informação necessária para definição do estudo, a seleção ou desenvolvimento de procedimentos de ensaio, a realização de ensaios, a interpretação de dados e a preparação do relatório dos resultados.

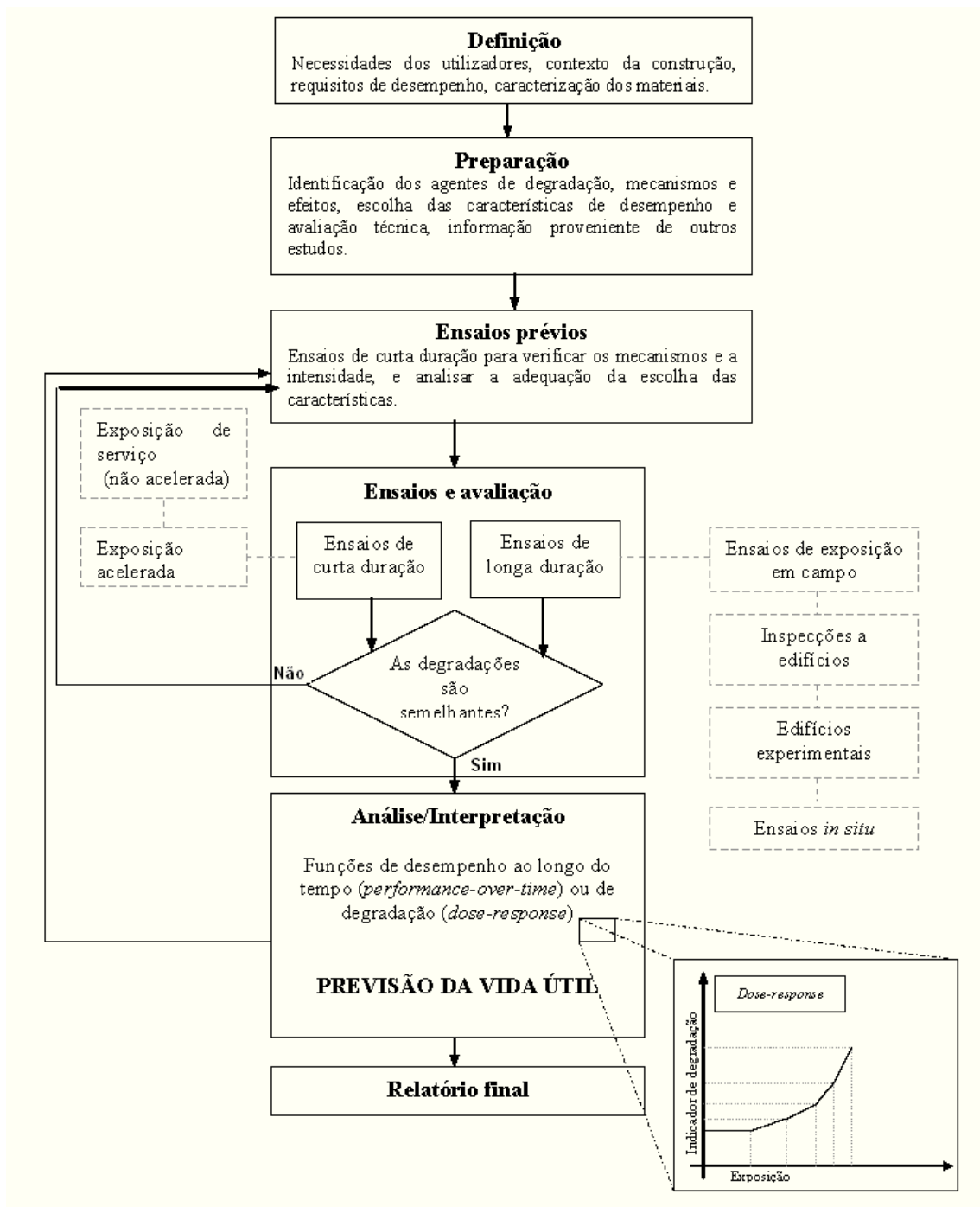


Figura 2.2 - Metodologia Sistemática de previsão da vida útil (Santos, 2010 - adaptado de ISO 15686-2, 2001)

A metodologia proposta pela ISO 15686-2 pode ser utilizada para um simples estabelecimento de uma função desempenho *versus* tempo (*performance-over-time*), para um local específico, ou pelo estabelecimento de funções de degradação (*dose-response*) válidas para uma gama de condições ambientais.

De forma semelhante ao sugerido na ISO 15686-2, Paulo (2009) define três fases fundamentais no procedimento de previsão da vida útil – definição do problema, recolha de dados e análise de dados. (Figura 2.3).

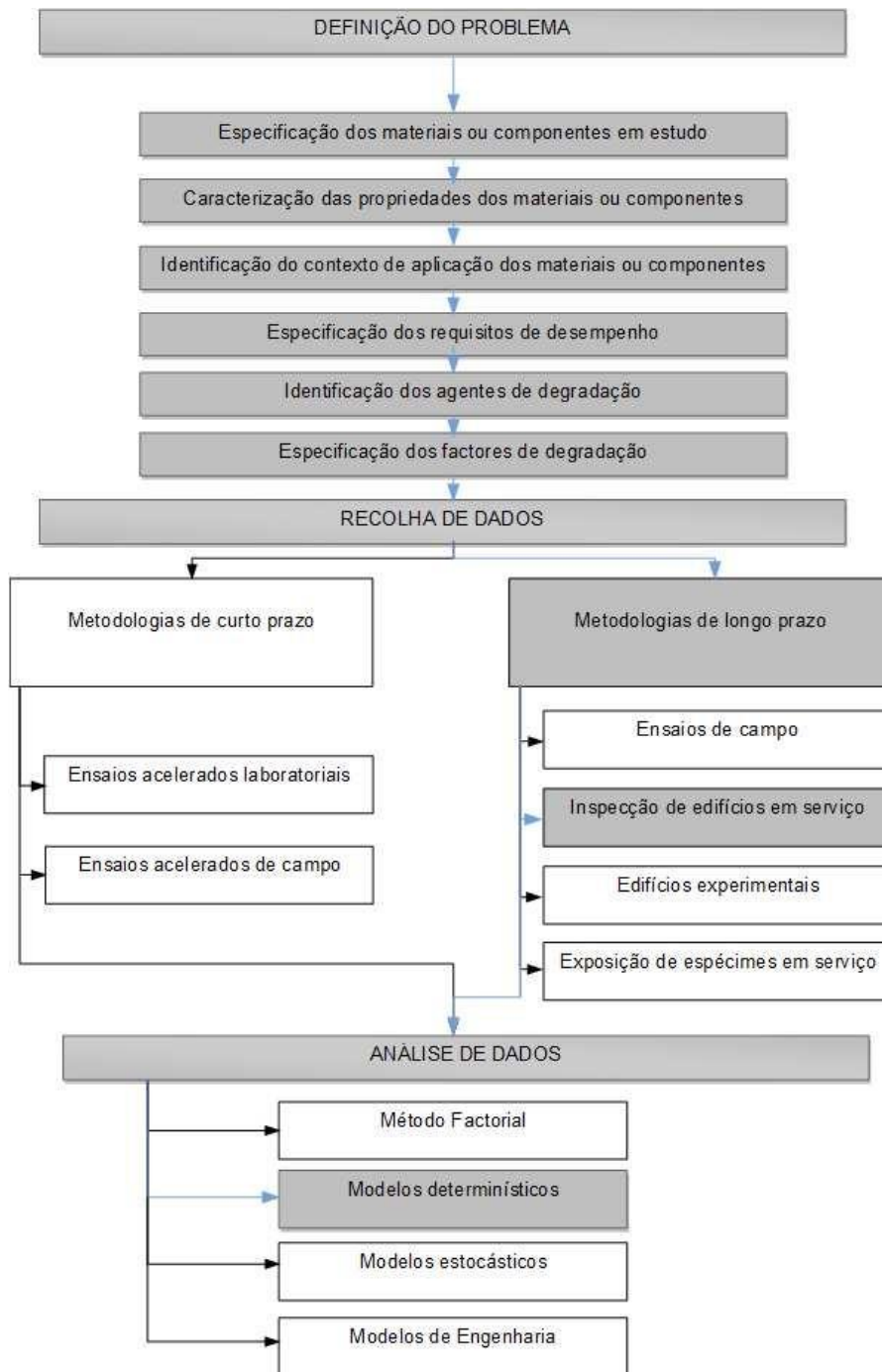


Figura 2.3 - Procedimento geral das metodologias de previsão da vida útil de materiais e componentes de construção (Paulo, 2009)

Nesta figura, é apresentada uma esquematização desse procedimento. Na definição do problema, deve-se em primeiro lugar analisar o problema, identificar os fatores relevantes e obter as informações e conhecimentos necessários. Para tal, deve-se especificar o desempenho funcional esperado do elemento em estudo, caracterizar o contexto em que vai estar inserido, da forma mais detalhada possível, identificar os níveis de desempenho requeridos para cada situação, estabelecer critérios de avaliação e caracterizar o material ou componentes nas suas propriedades físicas e químicas.

Depois de concluída esta fase, deve-se caracterizar as condições em que irá ocorrer a degradação. Para tal, é necessário definir e quantificar os agentes de degradação, os mecanismos de degradação, os efeitos que esses mecanismos provocarão e selecionar os métodos através dos quais se pode verificar o cumprimento dos critérios de desempenho. No Quadro 2.4, adaptada da ISO 15686-1, são apresentados os agentes de degradação mais comuns.

Quadro 2.4 - Agentes de degradação (Adaptado de ISO 15686-1)

Natureza	Classe
Mecânica	Gravitacionais Forças aplicadas e deformações impostas ou restringidas Energia cinética Vibrações e Ruídos
Eletromagnética	Radiação Eletricidade Magnetismo
Térmica	Níveis extremos ou variações acentuadas de temperatura
Química	Água e solventes Agentes oxidantes Agentes redutores Ácidos Bases Sais Substâncias quimicamente neutras
Biológica	Plantas e micróbios Animais

Feita a caracterização dos agentes de degradação, procede-se à realização de ensaios prévios. Esta fase tem como objetivo avaliar o plano de ensaios definido e corrigir quando necessário. É também possível nesta fase fazer uma primeira avaliação dos agentes de degradação em estudo.

Os ensaios de previsão da vida útil podem ser de curto ou longo prazo. Estas denominações não estão diretamente relacionadas com o tempo dedicado à obtenção dos dados, mas sim com a observação do tipo de degradação consoante a metodologia adotada – caso se trate de uma degradação que ocorra num curto ou num longo espaço de tempo.

Nas metodologias de curto prazo, os materiais ou componentes são submetidos aos agentes de degradação em intensidades acima do esperado nas condições de uso, de forma a acelerar o processo de degradação.

Estas metodologias têm como principal objetivo analisar a degradação esperada, equivalente à que seria de prever durante o normal período de serviço, mas num período de tempo bastante inferior.

Existem dois tipos de metodologias de curto prazo:

- ensaios acelerados laboratoriais;

- ensaios acelerados de campo.

Os ensaios acelerados laboratoriais simulam a ação dos fatores de degradação que seria previsível encontrar em serviço, permitindo que os mesmos sejam isolados e seja assim possível avaliar a influência desses fatores nos materiais ou componentes em estudo. Segundo Garrido (2010), a obtenção de condições artificiais, juntamente com o agravamento das intensidades dos fatores de degradação pode originar mecanismos de degradação que não ocorreriam em exposição normal, pelo que, por vezes, a correlação com a degradação que ocorre em exposição real nas condições de serviço é questionável.

Os ensaios acelerados de campo baseiam-se na exposição de materiais em determinadas localizações pré-definidas, onde estes ficam sob ação dos fatores de degradação do meio envolvente, sendo monitorizados e avaliados durante todo o período do ensaio. Apesar de terem períodos de ensaio superiores aos acelerados laboratoriais, o tempo de ensaio é definido de acordo com os objetivos pretendidos no mesmo. Estes ensaios têm a vantagem de permitir analisar a degradação sob condições reais de exposição, o que permite reduzir o risco associado à obtenção dos resultados.

Os ensaios de longo prazo pretendem analisar a degradação dos materiais e componentes quando expostos em condições de serviço. De acordo com Jernberg et al. (2004) e tal como é possível observar na Figura 2.3, existem quatro tipos de ensaios de longo prazo:

- ensaios de campo;
- inspeção de edifícios em serviço;
- utilização de edifícios experimentais;
- exposição de espécimes em serviço.

Os ensaios de campo podem ser, tal como visto anteriormente, de curta ou longa duração. O que varia é a frequência e intensidade dos agentes de degradação. Num ensaio de campo de longa duração, e ao contrário do que acontece nos acelerados do mesmo tipo, a frequência e intensidade dos agentes é a mesma que existiria em condições de serviço.

A inspeção de edifícios em serviço tem como objetivo analisar o comportamento de edifícios reais, cuja conceção não prevê ensaios, sujeitos aos agentes de degradação do meio envolvente. Este tipo de ensaios é muito comum, uma vez que são simples e fáceis de aplicar, poupando recursos. No entanto, Sjöström et al. (1991) refere duas limitações para este tipo de metodologia – dificuldade de obtenção de dados e dificuldade de controlar e descrever os agentes de degradação.

A utilização de edifícios experimentais é bastante semelhante à inspeção de edifícios em serviço, uma vez que também inspeciona os edifícios em análise. As grandes diferenças estão relacionadas com o conhecimento prévio dos materiais e mecanismos experimentais. Na utilização de edifícios experimentais, estes são concebidos com o objetivo de simular o comportamento dos materiais e componentes em condições de serviço, sendo por isso determinados *à priori* os materiais que serão utilizados no edifício em análise.

Por último, a exposição de espécimes em serviço consiste na junção de materiais ou componentes da construção com o objetivo de se obter dados de vida útil em edifícios que não foram inicialmente concebidos para a execução de ensaios.

Tal como mencionado anteriormente, existem, segundo Abraham e Wirahadikusumah (1999) e Mehle et al. (2001) três tipos de modelos de estimativa da vida útil – modelos empíricos, modelos mecanicistas e modelos baseados em peritos.

Uma vez que este estudo se baseia unicamente em modelos empíricos, o subcapítulo seguinte abordará alguns dos mais comuns.

2.2.4 Modelos empíricos (ou estatísticos)

De acordo com Sousa et al. (2014) os modelos empíricos, também conhecidos como modelos estatísticos, são os modelos mais comuns na previsão da vida útil. Estes modelos são elaborados a partir de análises estatísticas realizadas a registos de operação e falhas de manutenção ou a partir de classificações de manutenção baseadas em inspeções.

Existem duas categorias principais de modelos empíricos:

- modelos baseados em funções;
- modelos baseados em dados.

Ambas as categorias se baseiam no ajuste de dados observados. No entanto, os primeiros utilizam funções matemáticas pré-estabelecidas para relacionar os dados recolhidos e os resultados obtidos. Nestes casos, o ajuste dos dados passa por determinar os coeficientes das funções que minoram o erro entre os dados recolhidos e os estimados.

Por outro lado, os modelos baseados em dados não apresentam nenhuma função matemática pré-definida. Estes modelos ajustam simultaneamente a relação entre os dados e os resultados estimados e a influência de cada variável (Tran, 2007) (Ana, 2009). O Quadro 2.5 apresenta alguns dos tipos de modelos mais comuns na previsão da vida útil de fachadas de edifícios.

Quadro 2.5 - Modelos empíricos mais comuns na determinação da vida útil de fachadas

Categoria	Tipo
Modelos baseados em funções	Regressão Linear
	Regressão Não Linear
	Regressão Ordinal
	Regressão Logística
	Curvas de Degradação
	Método Fatorial
	Cadeias de Markov
Modelos baseados em dados	Redes Neurais Artificiais (ANN)

2.2.4.1 Curvas de Degradação

Um tipo de modelo estatístico muito comum é a utilização de curvas de degradação que têm como objetivo modelar o desempenho de um certo material ou componente ao longo do tempo, quando sujeito a uma ou mais ações. Estas curvas de degradação podem ser obtidas através do ajuste a gráficos de degradação, os quais representam a evolução da degradação ao longo do tempo. Estes gráficos são usualmente definidos pelo tempo decorrido (abscissa) e por uma medida da degradação (ordenada). Esta medida de degradação poderá ser resultante de uma única anomalia ou de duas ou mais anomalias, sendo neste segundo caso necessário determinar um indicador de degradação que combine as diferentes anomalias em estudo.

Para além desta diferenciação, o eixo das ordenadas poderá estar definido por extensão de degradação ou por níveis de degradação. O primeiro caso dá origem a gráficos do tipo T-ED (Tempo – Extensão da Degradação) e o segundo origem a gráficos T-ND (Tempo – Nível de Degradação) (Garrido, Paulo, & Branco, 2010).

A escolha das curvas de degradação deve ter por base o estudo em questão e os fenómenos de degradação que estiverem a ser estudados, uma vez que a morfologia da curva deve ajustar-se o mais possível aos pontos do gráfico.

Curvas de Gompertz

As curvas de Gompertz têm como expressão geral a apresentada da Equação 1 e foram utilizadas com sucesso em vários trabalhos de modelação da degradação como no de Paulo (2009), Costa *et al.* (2012) e Garrido *et al.* (2012). No estudo de Paulo, o propósito era modelar o desempenho diferido de pinturas e rebocos de fachadas relativamente a diversas anomalias. No segundo estudo, de Costa *et al.*, o método foi aplicado para prever a evolução de manchas de sujidade em fachadas rebocadas de edifícios antigos. Já no terceiro caso, de Garrido *et al.*, as curvas de Gompertz foram aplicadas com sucesso à previsão da vida útil de fachadas pintadas de edifícios antigos e considera a quantificação de defeitos associados ao descasque da pintura.

$$D_G = e^{ae^{bt}} \quad (1)$$

- D_G – Valor da extensão da degradação;
- t – Tempo decorrido desde a entrada em serviço do material ou componente;
- a, b – Valores escalares, de sinal negativo.

O andamento da curva de Gompertz, apresentado na Figura 2.4, é caracterizado por dois patamares originados por assíntotas horizontais nos limites do contra-domínio da curva.

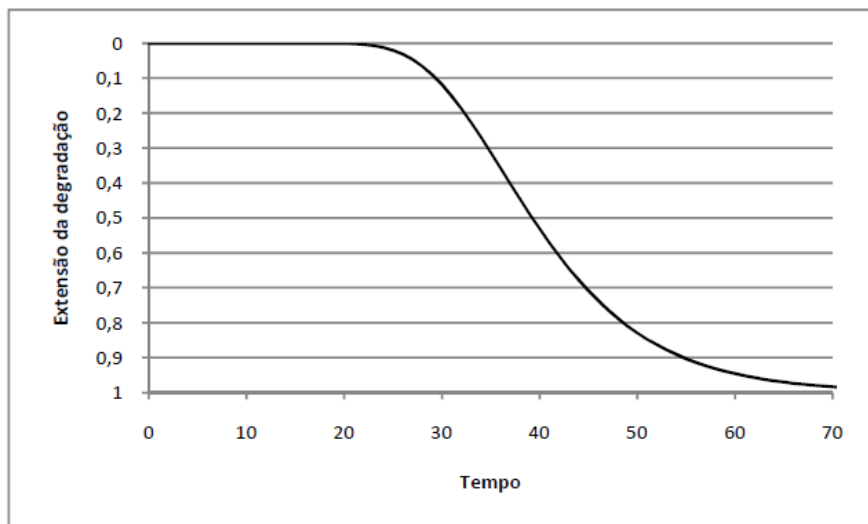


Figura 2.4 - Andamento de uma curva de Gompertz (adaptado de Garrido, 2010)

Estes patamares representam com sucesso as fases inicial e final da vida útil de um material ou componente. Numa primeira fase, em que a anomalia progride muito lentamente e numa fase final, em que a anomalia em estudo já afeta uma grande extensão do material, havendo por isso uma diminuição acentuada da variação da taxa de degradação.

Curvas Potenciais

Tal como as curvas de Gompertz, também as curvas potenciais foram usadas nos trabalhos de Paulo (2009), Costa *et al.* (2012) e Garrido *et al.* (2012). A Equação 2 apresenta a expressão geral das curvas potenciais, e o seu gráfico pode ser observado na Figura 2.5.

$$D_p = at^b \quad (2)$$

- D_p – Valor da extensão da degradação;
- t – Tempo decorrido desde a entrada em serviço do material ou componente;
- a, b – Parâmetros cujos valores são positivos.

Tal como nas curvas de Gompertz, também estas apresentam uma assíntota horizontal que limita o máximo da função. Este patamar inicial reflete o período inicial da degradação, em que a sua taxa é bastante reduzida. No entanto, e ao contrário do que acontece nas curvas de Gompertz, as curvas Potenciais não apresentam um patamar na zona final da curva, fazendo-se notar uma constante evolução da taxa de degradação até ser alcançado o valor máximo de extensão da anomalia.

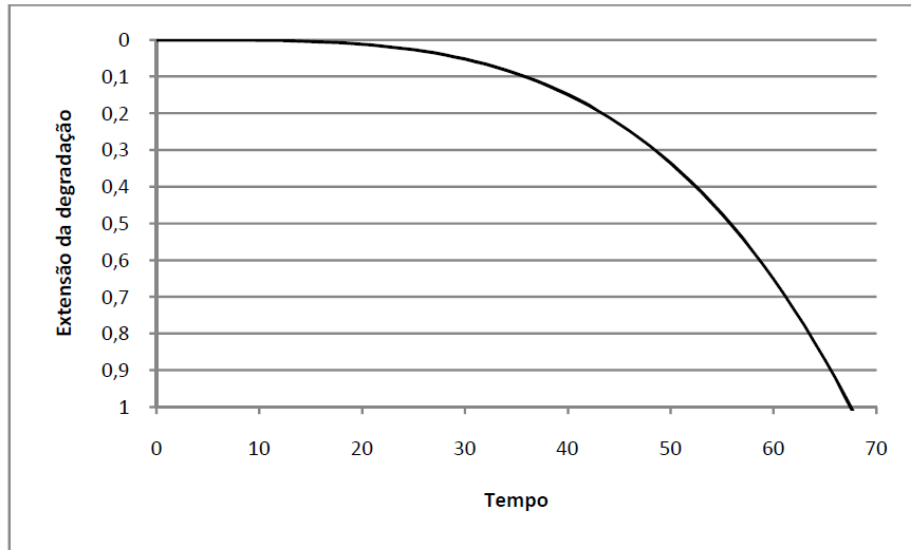


Figura 2.5 - Andamento de uma curva potencial (Garrido, 2010)

Curvas de Weibull

Também este tipo de curvas foi testado nos trabalhos mencionados anteriormente para as curvas de Gompertz e Potenciais.

Este tipo de curvas, que se encontram representadas na Figura 2.6 é, de acordo com Martin et al. (1996), a mais utilizada e a mais estudada na engenharia de Fiabilidade. A mesma tem a seguinte expressão geral:

$$D_W = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

- DW – Valor da extensão da degradação;
- T – Tempo decorrido desde a entrada em serviço do material ou componente;
- η, β – Parâmetros escalares de sinal positivo.

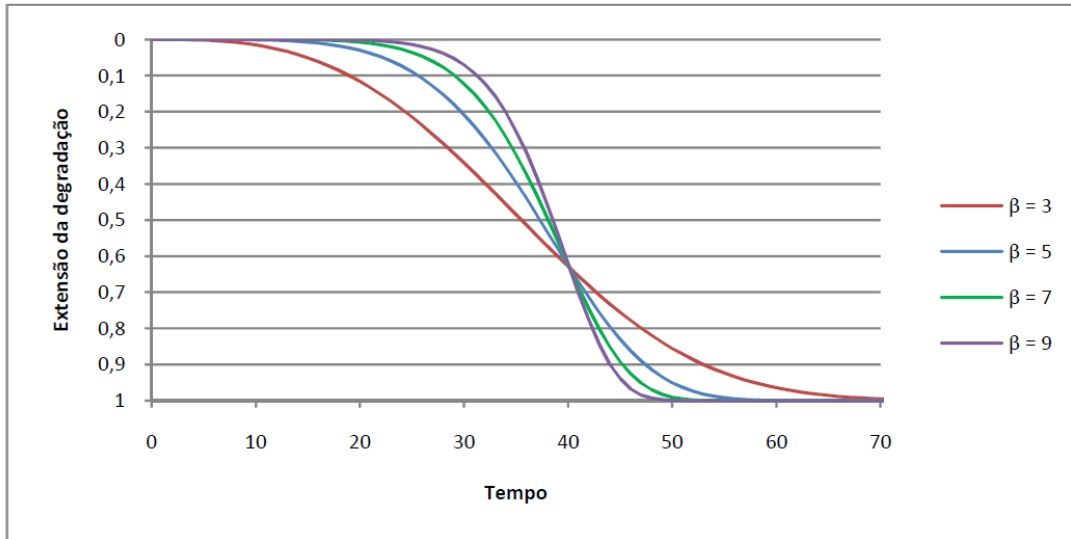


Figura 2.6 - Andamento das curvas de Weibull (Garrido, 2010)

Regressão Logística

Para estudar a relação entre variáveis qualitativas, um método muito usado é a regressão Logística. Esta regressão varia conforme a variável dependente seja binária (regressão logística) ou permita mais do que dois resultados (regressão multinomial logística). Esta regressão tem como objetivo descrever a relação entre uma variável dependente categórica e as variáveis explicativas independentes, em termos da probabilidade de um determinado evento.

Na função utilizada na regressão logística para estimar a probabilidade de num ensaio realizado j ($j = 1, \dots, n$), a variável dependente ser um “sucesso”, $P[Y_j = 1] = \hat{\pi}_j$, é a função logística cuja forma genérica, para mais do que uma variável independente X_i ($i = 1, \dots, p$), é dada pela Equação 4.

$$\hat{\pi} = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_{1j} + \dots + \beta_p X_{pj}}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_{1j} + \dots + \beta_p X_{pj}}} \quad (4)$$

A aplicação deste método pode ser observada em trabalhos como o de Silva et al. (2014) e o de Folorunso e Ahmad (2013). No primeiro, é utilizada uma regressão logística multinomial para realizar uma análise probabilística das condições de degradação de fachadas de reboco, como função da idade e do tipo de argamassa. No trabalho de Folorunso e Ahmad, a regressão multinomial logística teve como objetivo estabelecer a relação entre a variável dependente (duração temporal até ao aparecimento de falhas na pintura) e as variáveis independentes (descoloração, erosão, crescimento de eflorescências, descascamento e humidade) para avaliar o desempenho de pinturas de fachadas exteriores em ambientes costeiros.

2.2.4.2 Método Fatorial

O método factorial proposto pela ISO 15686 tem por base o conceito apresentado pela primeira vez pelo *Architectural Institute of Japan*, em 1993, tal como mencionado no sub-capítulo 2.2.1 da presente dissertação.

Este método é aquele que tem maior aceitação por parte da comunidade científica e aplicação prática pela sua elevada operacionalidade. O documento da norma ISO refere que o método fatorial é uma maneira de reunir a consideração de cada uma das variáveis que é suscetível de afetar a vida útil. Pode ser usado para fazer uma avaliação sistemática, mesmo quando as condições de referência não coincidem totalmente com as condições previstas de utilização. A sua utilização pode reunir a experiência de projetistas, observações, intenções dos gestores, e garantias dos fabricantes, bem como dados de laboratórios de ensaios. O Método Fatorial não fornece uma garantia de uma vida útil: apenas fornece uma estimativa empírica baseada em informações disponíveis (Hovde, 2004):.

Este método baseia-se num valor de referência de vida útil (RSL) e numa série de fatores corretivos que estão relacionados com as condições específicas de cada caso. A multiplicação do RSL pelos diversos fatores permite determinar uma estimativa da vida útil (ESL).

$$ESL = RSL \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \quad (5)$$

- A: qualidade dos componentes;
- B: nível de conceção;
- C: nível de execução dos trabalhos;
- D: ambiente interior;
- E: ambiente exterior;
- F: condições de serviço;
- G: nível de manutenção.

Os valores para os fatores corretivos representam o desvio em relação às condições de referência, pelo que os seus valores devem ser próximos de 1. De acordo com a norma ISO 15686, estes valores devem variar entre 0.8 (influência negativa), 1 (influência nula) e 1.2 (influência positiva).

Nos últimos anos têm sido feitos bastantes esforços no sentido de melhorar o método fatorial, nomeadamente na sua elevada dependência pelos fatores, na natureza determinística dos resultados, na grande variabilidade de resultados e na ausência de diretrizes para quantificar o RSL e os fatores corretivos (Gaspar & de Brito, 2008).

A norma ISO recomenda, para o cálculo do RSL, o uso de valores de vida útil indicados pelos fabricantes. No entanto, na ausência destes valores, torna-se bastante complicado determinar o valor que deve ser usado como referência para a aplicação do método fatorial. Num trabalho extenso de Rudbeck (1999) acerca dos diversos métodos de previsão da vida útil, é descrita uma avaliação de

vários mecanismos para a determinação do RSL e são apresentadas diretrizes para a escolha do método mais indicado em cada caso.

No mesmo ano, Aarseth e Hovde apresentaram uma metodologia de avaliação estatística dos fatores corretivos, denominado “princípio *step-by-step*”. De acordo com os autores, este princípio permite uma manipulação estocástica dos fatores corretivos do método fatorial apresentado na ISO 15686, executando uma estimativa tripla para cada fator. Depois do cálculo estatístico, a estimativa da vida útil é apresentada em três cenários distintos. A vida útil estimada, somada e subtraída de um desvio padrão.

Também em 1999, Moser apresentou um método de determinação dos fatores corretivos que, em vez de tratar todos os fatores da mesma forma, como faz o princípio *step-by-step*, aplica um tratamento estatístico individual a cada fator, usando diferentes distribuições estatísticas para cada um (Determinística, normal, lognormal ou Gumbel) e dando valores individuais de mínimo, mais provável e máximo para cada fator (Hovde, 2004).

O método fatorial é aplicado em diversos trabalhos. Como título de exemplo, é possível observar este método no trabalho de Gaspar e de Brito (2008) e no de Magos et al. (2016). No primeiro, é feita uma descrição de uma metodologia para quantificar a vida útil de referência (RSL) e os fatores corretivos de fachadas com reboco à base de cimento. O estudo é baseado em dados de 150 edifícios em Portugal. No segundo trabalho mencionado, de Magos et al., é aplicado o método fatorial, tal como proposto pela norma ISO 15686, tendo como base dados recolhidos de 323 fachadas. Neste trabalho, os fatores de durabilidade são obtidos por iterações e os resultados são analisados com base num conjunto de critérios e indicadores estatísticos.

2.2.4.3 Redes Neurais Artificiais

A utilização de redes neuronais artificiais (ANN – *Artificial Neural Networks*) para desenvolver modelos matemáticos de previsão da vida útil pode ser observada em trabalhos como Dias et al. (2014), Chew et al. (2006) ou Silva et al. (2012).

No primeiro, é apresentado um novo modelo matemático que utiliza redes neuronais artificiais para avaliar a vida útil de superfícies pintadas, recorrendo a dados recolhidos em 160 edifícios (220 fachadas) localizadas em Lisboa, avaliando diversos agentes de degradação.

No trabalho de Chew et al. foi feita uma pesquisa a 450 edifícios altos de Singapura e uma avaliação mais detalhada a 120 destes. Depois de detetados 22 fatores de risco, estes foram quantificados e usados como *input* de uma rede neuronal artificial para desenvolver um sistema de classificação de manutenção.

No trabalho de Silva et al., depois de observar e analisar as condições de 100 fachadas rebocadas, são utilizadas redes neuronais artificiais para estabelecer modelos matemáticos para estimar a degradação deste tipo de fachadas.

O elemento de processamento fundamental das redes neuronais artificiais é geralmente denominado neurónio, uma vez que a maioria dos ANN imita o sistema neural biológico. No essencial, um neurónio recebe informações (*inputs*), através das suas sinapses, combina as informações recebidas através dos diferentes pesos sinápticos, executa uma operação geralmente não linear sobre o resultado e fornece esse mesmo resultado como *output* do modelo.

2.2.4.4 *Cadeias de Markov*

O Modelo de Markov é uma abordagem estocástica utilizada na simulação da transição de um nível de degradação para outro ao longo do tempo. Este modelo foi utilizado por Paulo (2009) no seu estudo de aplicação de diversos modelos determinísticos e estocásticos na avaliação de fachadas.

De acordo com Hovde e Moser (2004), o Modelo de Markov assume que a deterioração é um processo estocástico regido por variáveis aleatórias, que por sua vez definem parâmetros probabilísticos que afetam uma curva de degradação.

De acordo com Santos (2010), as variáveis aleatórias são os critérios de desempenho definidos e os seus parâmetros probabilísticos correspondem aos parâmetros de desempenho. Estes últimos são geralmente escalonados em níveis de 1 a n (da rotura à excelência) de acordo com a degradação contínua do sistema. Da combinação do número de parâmetros com o número de níveis por parâmetro resulta uma matriz que representa o número de estados de um determinado elemento. Em seguida, define-se a probabilidade de passagem de um estado para outro, por unidade de tempo, para cada nível. Para este procedimento, utiliza-se como base observações de campo em função de cada variável ambiental. Com este conjunto de informação, formam-se as matrizes e a probabilidade de passagem de estado, que podem ser graficamente exemplificadas pela Figura 2.7.

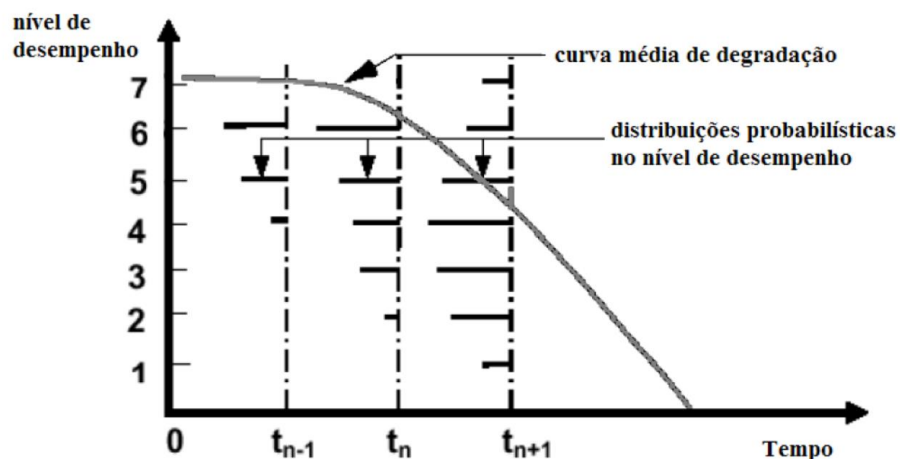


Figura 2.7 - Função de deterioração de Markov, adaptado de Hovde e Moser (2004) (Santos(2010))

2.3 Análise financeira

2.3.1 Orçamentação

Ao longo de um projeto de construção, os projetistas devem apresentar diversas peças escritas, nas quais se incluem a estimativa do custo da obra ou o orçamento da obra, dependendo da fase em que se encontre o projeto.

A definição dos valores a incluir nestas peças seguem dois métodos distintos:

- o custo unitário de área de construção;
- o custo unitário dos trabalhos a realizar.

O custo unitário da área de construção é aplicado numa fase preliminar do projeto, quando ainda não foram realizadas as medições dos trabalhos a realizar. Desta forma, utilizam-se valores por unidade de área de construção aplicados em obras semelhantes realizadas pelo projetista ou outros valores resultantes de estudos estatísticos realizados por especialistas.

Os valores resultantes deste método são habitualmente aproximados, devendo ser confirmados com base nas medições detalhadas dos trabalhos a realizar.

O segundo método mencionado – custo unitário dos trabalhos a realizar – é aplicado na fase do projeto de execução, quando já é possível medir com exatidão a quantidade de trabalhos. Na lista resultante da medição são aplicados os custos unitários utilizados em trabalhos da mesma natureza e nas mesmas condições.

Estes custos unitários podem ser definidos com base nos preços apresentados pelos empreiteiros em obras semelhantes executadas num prazo recente. A atualização dos preços unitários definidos é feita com base num coeficiente que traduza a evolução dos custos da construção desde a fase em que foram definidos até à fase de elaboração do orçamento.

A estas previsões de custos devem ser acrescentados alguns adicionais como o valor previsível para:

- erros e omissões;
- trabalhos a mais;
- revisão de preços;
- valor correspondente ao IVA (Imposto sobre o Valor Acrescentado).

O valor máximo previsível para erros e omissões é de 5% do custo total da obra. Tal deve-se à inclusão, ocasionalmente, de uma cláusula nos contratos que prevê penalizações nos honorários dos projetistas quando o valor dos erros e omissões ultrapassam, em conjunto, os 5% referidos anteriormente.

A parcela referente a trabalhos a mais varia consideravelmente com o grau de pormenor do programa preliminar e do acompanhamento que o dono de obra dispensa durante a fase de execução do projeto. Uma correta definição dos objetivos fixados no programa e um acompanhamento constante das

alterações do projeto reduzem significativamente o peso desta parcela no orçamento final. Em obras públicas é recorrente considerar-se, para esta parcela, 5% do custo total da obra.

Por sua vez, a revisão de preços tem como propósito considerar a evolução dos preços da mão-de-obra e dos materiais utilizados na obra, dos prazos de adjudicação, da consignação e da execução da obra. Desta forma, deve ser feita uma estimativa do valor da revisão de preços com base no conhecimento da evolução recente dos preços de materiais e mão-de-obra. É comum admitir-se para esta estimativa um valor de 5% do custo total da obra, incluindo o valor da revisão de preços relativo aos erros e omissões e aos trabalhos a mais.

Como mencionado acima, a estas correções deve ainda ser adicionado o IVA correspondente, que atualmente se situa nos 23%. Em certos casos é aplicada a taxa mínima deste imposto, de 6%, nomeadamente em empreitadas executadas por autarquias locais ou cooperativas de habitação.

Desta forma, determina-se o valor previsível no final de uma obra para os casos correntes, que resulta da relação:

$$V_f(\text{com IVA}) = 1.23 \times (V_{adj} + V_{eo} + V_{tm} + V_{rp}) \quad (6)$$

- V_f – Valor final da obra;
- V_{adj} – Valor de adjudicação da obra;
- V_{eo} – Valor previsível para erros e omissões;
- V_{tm} – Valor previsível para trabalhos a mais;
- V_{rp} – Valor previsível para a revisão de preços.

Para estimar o valor destas diferentes parcelas é necessário determinar de forma quantitativa os trabalhos a executar. Assim, devem ser estabelecidas regras que visem a uniformização dos métodos e critérios a adotar para a realização dessas medições. A regulamentação de obras públicas exige que a definição destas regras, para os diferentes trabalhos a realizar na obra, conste nas cláusulas técnicas gerais do caderno de encargos, uma vez que não existem em vigor normas oficiais de medição nem normas definidas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

No entanto, e apesar de o LNEC não apresentar normas oficiais, existe um trabalho publicado por este laboratório intitulado “*Regras de Medição na Construção*” que tem vindo a ser utilizado como referência em muitas situações. Nestes casos, o caderno de encargos deve incluir uma cláusula que estabeleça a aplicação deste regulamento nas medições a efetuar.

Estas regras de medição podem ser divididas em regras gerais e regras específicas. As regras gerais pretendem definir aspetos como as unidades de medição a utilizar em cada caso, os números de casas decimais ou ainda a ordem pela qual as diferentes medidas devem ser apresentadas na definição de um elemento. As regras de medição específicas são bastante extensas, uma vez que pretendem definir os critérios a adotar para cada tipo de trabalho. As mesmas podem ser consultadas mais

detalhadamente na publicação do LNEC “Regras de Medição na Construção” acima mencionada. (Dias L. A., 2013)

2.3.2 Avaliação financeira

2.3.2.1 Revisão de Preços

A regulamentação sobre empreitadas de obras públicas prevê que o preço das empreitadas de obras seja revisto quando tal seja previsto no contrato, designadamente quando haja lugar a alteração das circunstâncias em que as obras foram contratadas resultando aumento ou redução de encargos para o empreiteiro. (Dias L. A., 2013)

Nesta revisão está prevista a variação que ocorre nos preços de mão-de-obra, materiais ou equipamentos afetos à obra. O regime de revisão de preços de empreitadas de obras está aprovado pelo D.L. nº 6/2004 de 6 de Janeiro e define três métodos de revisão de preços: Fórmula Polinomial, Garantia de custos e Misto (que combina os dois métodos anteriores), sendo o método que utiliza a fórmula polinomial o mais utilizado.

A fórmula polinomial tem a forma

$$C_t = a \frac{S_t}{S_0} + \sum_{i=1}^n b_i \frac{M_{i_t}}{M_{i_0}} + c \frac{E_t}{E_0} + d \quad (7)$$

$$a + \sum b_i + c + d = 1, \quad (8)$$

onde C_t (coeficiente de atualização) representa a evolução ponderada dos preços de mão-de-obra, materiais e equipamentos de uma dada empreitada num intervalo de tempo definido. O coeficiente a representa o peso do custo da mão-de-obra no valor total da empreitada, b_i representa o peso do custo dos diferentes materiais, c o peso do custo dos equipamentos de apoio e d o peso dos custos diversos orçamentados. A soma destes coeficientes tem de ser igual a 1 e os seus valores estão tabelados e publicados em despachos no Diário da República (Despachos nº1592/2004 de 23 de Janeiro e nº22637/2004 de 12 de Outubro). Os valores destes coeficientes variam de acordo com o tipo de obra cujos preços se pretendem rever.

Os valores de $\frac{S_t}{S_0}$, $\frac{M_{i_t}}{M_{i_0}}$, e $\frac{E_t}{E_0}$ denominam-se índices de custo de mão-de-obra, materiais e equipamentos de apoio, respetivamente. Os valores com índice t referem-se aos preços praticados no momento para o qual se está a calcular a revisão e os valores com índice 0 referem-se aos preços praticados no mês de referência (Janeiro de 2004). Estes índices são publicados trimestralmente em Diário da República, são referentes a cada mês do ano e variam com o tipo de obra e com os materiais previstos em cada um destes tipos de obras.

2.3.2.2 Indicadores Financeiros

Num cenário de análise financeira, existem diversos indicadores que permitem avaliar investimentos e comparar diferentes cenários. Neste capítulo serão abordados alguns desses indicadores.

VAL

O Valor Atualizado Líquido é uma medida que determina o resultado líquido de um investimento durante o período de vida do empreendimento. Esta fórmula atualiza os cash-flows previstos para um investimento para valores atuais, através de uma taxa que se baseia no juro de investimentos sem risco (como certificados de aforro ou depósitos a prazo) acrescida de uma taxa que reflita o risco associado ao investimento em análise. É um indicador direto dos benefícios de um investimento.

TIR

A Taxa Interna de Rendibilidade é uma medida relativa de rendibilidade que determina a taxa para a qual o VAL é nulo, traduzindo desta forma a taxa de remuneração relativa do capital investido.

VAUE

O Valor Anual Uniforme Equivalente permite comparar diretamente empreendimentos com vidas úteis diferentes, uma vez que determina o valor da anuidade equivalente ao fluxo monetário do mesmo.

$$VAUE = VAL \left[\frac{TA(1 + TA)^n}{(1 + TA)^n - 1} \right] \quad (9)$$

IR

O índice de rendibilidade corresponde ao rácio entre os fluxos financeiros e o investimento inicial de um empreendimento, permitindo desta forma analisar o potencial de rendibilidade de um investimento por cada unidade monetária investida.

PRI

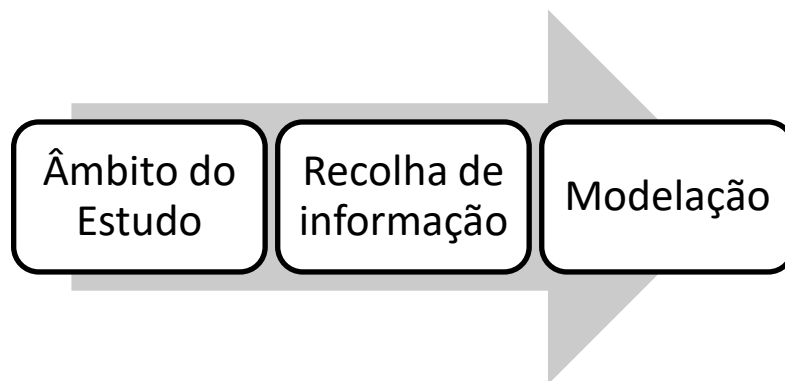
O Período de Recuperação do Investimento determina o número de anos necessários para recuperar um investimento inicial aplicado num empreendimento.

3 Metodologia aplicada

3.1 Abordagem metodológica

3.1.1 Aspectos gerais

A metodologia proposta neste estudo encontra-se dividida em três etapas principais, cujas descrições se encontram em baixo. São elas:



3.1.2 Âmbito do estudo

Esta primeira fase da metodologia tem como objetivo definir o propósito do estudo. Para isso, deve ser definido o objeto de estudo e a abrangência do mesmo.

O objeto de estudo pode ser um edifício como um todo, um sistema, um componente ou um elemento. A sua escolha está dependente do objetivo do estudo. Ao considerar edifícios como um todo, consideram-se implicitamente todos os fatores que influenciam o seu desempenho. No entanto, e uma vez que os edifícios tendem a ter um comportamento único, a generalização acaba por ser limitada. Por outro lado, considerar um elemento permite uma maior generalização, embora existam limitações na identificação, quantificação e modelação de todos os fatores que possam afetar o seu desempenho.

A abrangência do estudo implica a definição do tempo e do espaço. O tempo refere-se à escolha do período construtivo a analisar, uma vez que as tecnologias e os materiais utilizados evoluem ao longo do tempo. A definição do espaço está relacionada com o facto de o estudo ser mais concentrado num local específico ou abranger uma área mais alargada (regional, nacional ou internacional). Para além da variabilidade da envolvente, podem existir, do ponto de vista espacial, diferenças nas práticas construtivas.

3.1.3 Recolha de informação

A recolha de informação pode ser obtida através de três fontes principais:

- documentos;
- observação direta;

- observação indireta.

Os documentos podem ter origens variadas, como elementos de projeto, registos fotográficos, catálogos ou outros elementos físicos ou digitais.

A observação direta envolve levantamentos e inspeções, podendo estas ser visuais ou por meio de ensaios ou testes.

A observação indireta envolve a recolha de evidências a partir da memória de peritos ou não-peritos, e acontece em casos em que os dados não estão disponíveis nem são de fácil observação.

Um destes métodos é o método de Delphi, que tem sido muito recorrente desde os anos 80 no campo na engenharia de risco. De acordo com Moser (2004), este método consiste em 3 etapas:

- Na primeira etapa, um grupo de peritos reúne-se e dá a sua opinião acerca da distribuição dos diferentes fatores que podem afetar a degradação, sobre o tipo de distribuições (normal, log-normal, Gumbel, etc.), médias e desvios padrão.
- A segunda etapa consiste no cálculo da vida útil a partir dos dados fornecidos pelos peritos.
- Na terceira etapa é feita uma discussão minuciosa dos resultados obtidos. Nesta fase, a experiência dos peritos é essencial para avaliar os modelos e definir possíveis ajustes aos mesmos.

É recorrente, nos diferentes estudos de previsão da vida útil de fachadas, haver mais do que um tipo de recolha de informação. A título de exemplo, Chew *et al.* (2006), no estudo acerca da classificação dos parâmetros de risco para a manutenção de fachadas, utilizam uma metodologia de recolha de dados que se baseia em duas fases:

- identificação de anomalias em fachadas de edifícios, por observação direta;
- inquéritos a gestores de propriedades.

Num outro estudo, de Silva *et al.* (2012) sobre modelos estatísticos aplicados à previsão da vida útil de fachadas, a pesquisa é feita através de observação direta, onde se listam e descrevem as anomalias detetadas e procura-se as causas das mesmas, e através da análise de diversos documentos, onde são pesquisadas, entre outras, as características dos materiais, as localizações e orientações das fachadas, a data e natureza da última intervenção e algumas características da arquitetura dos edifícios.

3.1.4 Modelação

A definição da modelação a utilizar no estudo deve incidir sobre critérios relacionados com o tipo de dados que de pretendem analisar, contínuos ou descontínuos.

Os modelos contínuos, como referido anteriormente, avaliam questões como a extensão de degradação ao longo do tempo, resultando assim em gráfico T-ED. Alguns dos modelos mais utilizados neste tipo de análises são as curvas de Gompertz, Weibull ou Potenciais.

Os modelos descontínuos têm como propósito analisar dados descontínuos, como por exemplo níveis de degradação, dando assim origem a gráficos T-ND. É comum utilizarem-se para estes dados modelos logísticos ou matrizes de transição.

Deve ainda ter-se em consideração o funcionamento do modelo, de forma a ajustar aos dados recolhidos e aos resultados pretendidos. Tal como mencionado anteriormente, existem modelos baseados em funções, como as regressões, as matrizes de transição ou o método fatorial, que utilizam funções matemáticas pré-estabelecidas para relacionar os dados e os resultados, determinando os coeficientes das funções que minoram o erro; e modelos baseados em dados, como as redes neuronais artificiais, que ajustam simultaneamente a relação entre os dados e os resultados estimados e a influência de cada variável em estudo.

3.2 Caso de Estudo

3.2.1 Âmbito do estudo

Seguindo a recomendação e prática da generalidade dos estudos nesta temática, a análise é efetuada ao nível dos componentes, tendo-se focado no estudo da envolvente exterior vertical opaca dos edifícios por ser aquela que mais se degrada de forma independente do uso. Dentro das várias soluções tecnológicas existentes para a envolvente exterior vertical opaca, a solução de reboco pintado é das mais utilizadas em Portugal, daí a sua seleção como objeto de estudo.

Em termos de abrangência, optou-se por restringir o estudo tanto em termos temporais como espaciais para limitar a variabilidade do desempenho decorrente das diferenças dos materiais e métodos construtivos utilizados e das solicitações externas. Assim, a homogeneidade construtiva, especialmente no que concerne à envolvente exterior, foi o critério principal na escolha da área em estudo. O objetivo subjacente a esta opção foi uniformizar, dentro do possível, a influência dos materiais ou técnicas construtivas no desempenho em serviço dos edifícios. Deste modo, e excluindo a questão da qualidade construtiva que é sempre um fator potencialmente relevante mas de difícil quantificação, pretendeu-se que o desempenho em serviço fosse ditado fundamentalmente pela exposição e pela manutenção dos edifícios, procurando assim captar o desempenho intrínseco do componente.

Neste sentido, selecionou-se uma área na cidade de Lisboa (Figura 3.1) que envolvesse um conjunto de edifícios em número suficiente para realizar análises estatísticas, mas que fossem da mesma época e apresentassem características construtivas semelhantes. A área selecionada localiza-se no Bairro de Alvalade, sendo limitada a Sul pela Avenida da Igreja e a Norte pela Rua Luís Augusto Palmeirim. No total envolve 49 edifícios distribuídos pela Rua Luís Augusto Palmeirim e as perpendiculares Rua Marquesa Alorna, Rua Acácio de Paiva, Rua José d'Esaguy e Rua José Duro (da esquerda para a direita).

Esta urbanização está inserida na célula III do Plano de Urbanização da Zona a Sul da Avenida Alferes Malheiro (atual Avenida do Brasil) do arquiteto municipal Faria da Costa. Este plano previa a construção

de fogos com renda limitada e com a mesma tipologia por célula, dependente da dimensão do agregado familiar. Desta forma, os edifícios em estudo foram concluídos e habitados entre 1948 e 1949.

Se, por um lado, esta opção limita a aplicabilidade de alguns dos resultados obtidos a edifícios que possam ser considerados idênticos aos estudados, por outro aumenta a representatividade dos resultados para este tipo de edifícios. Adicionalmente, deste modo evita-se o risco de analisar em conjunto soluções díspares e inferir generalizações que podem ser irrealistas.

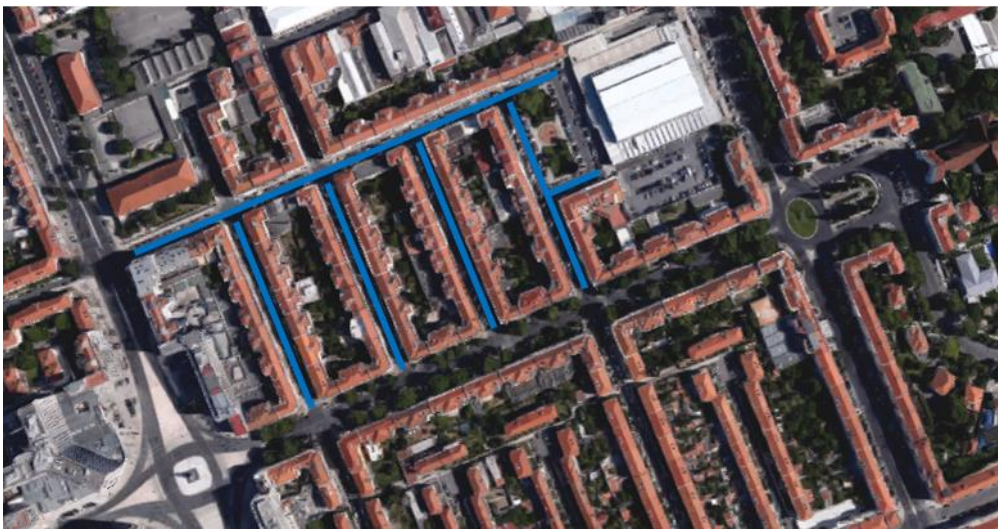


Figura 3.1 - Área de Estudo (imagem retirada do Google Maps e adaptada, 2017)

3.2.2 Recolha de informação

A caracterização e o histórico dos edifícios, em particular no que diz respeito às intervenções a que foram submetidos ao longo dos anos, foram obtidos recorrendo a várias fontes de informação, nomeadamente:

- Arquivo Municipal de Lisboa;
- levantamento fotográfico;
- inquéritos.

No arquivo municipal consultaram-se os processos de obra de todos os edifícios inicialmente selecionados para identificar os anos de construção e intervenções dos edifícios em estudo.

Para isso recolheram-se previamente os números de obra de todos os edifícios, com o auxílio do portal Lisboa Interativa, da Câmara Municipal de Lisboa.

Desta forma, foi possível determinar os anos de construção dos edifícios. Sendo edifícios originalmente construídos para habitação municipal de rendas limitadas, as primeiras intervenções estavam todas sujeitas a um pedido e posterior apreciação para obras de beneficiação geral, pelo que também foi possível identificar as primeiras intervenções na envolvente.

Da consulta concluiu-se também que numa fase posterior, os edifícios foram alvos de Autos de Vistoria. A pormenorização destes autos foi importante para a definição de alguns níveis de degradação, tema que se encontra abordado no capítulo 3.2.3.1 da presente dissertação.

No entanto, importa salientar que os dados obtidos nesta consulta podem não estar completos, uma vez que é comum haver registos em falta nos arquivos e que muitas vezes as intervenções não são comunicadas.

O levantamento fotográfico das fachadas dos edifícios foi efetuado em Novembro de 2016, permitindo registar os diferentes estados de conservação das fachadas. Para além de constituir um registo no tempo, o levantamento efetuado auxiliou na definição e caracterização dos diferentes níveis de degradação.

Concluída a consulta do arquivo municipal e o levantamento fotográfico das fachadas, suspeitou-se da possibilidade de algumas intervenções mais recentes não estarem registadas nos processos de obra dadas as diferenças de estado de conservação entre os edifícios e as datas das últimas intervenções registadas. Para averiguar esta situação, recorreu-se a um inquérito informal direto a moradores.

Através do inquérito complementou-se o histórico das intervenções na envolvente dos edifícios, identificando-se os anos em que tiveram lugar e o nível de degradação no momento da intervenção.

Para uniformizar a identificação do nível de degradação utilizaram-se 4 fotografias, recolhidas no levantamento fotográfico realizado, consideradas as mais representativas dos níveis de degradação definidos.

A determinação da orientação solar das fachadas foi feita com base nas fotografias aéreas fornecidas pelo Google Maps e pelo portal Lisboa Interativa.

O conhecimento destas orientações permite realizar uma análise comparativa que relacione o número de anos entre intervenções, o nível de degradação associado e a orientação das fachadas. Desta forma, pretende-se determinar a influência que a orientação solar desempenha na conservação das fachadas.

Neste levantamento foram consideradas apenas as quatro orientações principais – Norte (N), Sul (S), Este (E) e Oeste (W). Assim, tomou-se como aproximação uma variação de $\pm 45^\circ$ em cada um destes pontos cardeais, variando Norte entre os 315° e os 45° , Este entre os 45° e os 135° , Sul entre os 135° e os 225° e Oeste entre os 225° e os 315° .

Uma vez que na amostra em análise o número de edifícios com fachadas Norte e Sul era menor, considerou-se que os edifícios cuja fachada frontal tinha mais do que uma orientação solar, nomeadamente os edifícios de esquina entre a Rua Luís Augusto Palmeirim e as suas transversais, teriam orientação Norte ou Sul.

3.2.3 Modelação da degradação

3.2.3.1 Definição dos Níveis de Degradação

A degradação de componentes pode ser caracterizada de diferentes formas. A adoção de escalas de degradação contínuas com referência às diferentes anomalias registadas permite uma modelação temporal mais rigorosa e, potencialmente, uma maior compreensão dos mecanismos de degradação. Contudo, para relacionar com o tipo de intervenção a realizar é suficiente utilizar uma escala descontínua em que cada nível tem uma correspondência direta com o grau de intervenção e a solução tipicamente utilizada.

Tendo em consideração os objetivos da presente dissertação, optou-se pela segunda opção visto que permite relacionar a degradação com o custo da intervenção. A definição dos níveis de degradação e das soluções de intervenção e respetivos custos foi efetuada com o auxílio de técnicos da UrbiSistema, uma empresa que se dedica à construção, remodelação e manutenção de espaços públicos e privados e que se encontrava a realizar uma intervenção num dos edifícios presentes na amostra, com o auxílio dos Autos de Vistoria presentes nos registos de obra do Arquivo Municipal de Lisboa e ainda com a recolha bibliográfica realizada. Foram tidas em consideração apenas anomalias não estruturais. Assim, definiram-se os seguintes 4 níveis de degradação exclusivamente do reboco (excluem-se anomalias resultantes de falhas de outros sistemas – e.g., estrutura):

Nível 1

O Nível 1 caracteriza-se por apresentar apenas algumas manchas de escorrência de águas pluviais e pequenas fissuras inferiores a 0.5 milímetros. Para este nível, as técnicas de reparação previstas são a lavagem das paredes para remoção das manchas e ainda de possíveis fungos, bem como aplicação de um primário e tinta final. A previsão de custo por metro quadrado é de €12.50.

Nível 2

Este nível caracteriza-se pela existência de algumas fissuras até 2 milímetros, para além das manchas de escorrência existentes no nível 1. Para reparar estas anomalias, dever-se-á aplicar uma argamassa não retráctil nas fendas de maior dimensão, lavar o revestimento para remoção de manchas e fungos e aplicação final de um primário e tinta de exteriores. Prevê-se um custo por metro quadrado de €17.50.

Nível 3

A principal variação deste nível de degradação para o anterior é a distribuição das fissuras. Neste caso, verifica-se uma distribuição generalizada de fissuração do reboco. Para reparar esta situação, dever-se-á substituir o reboco, que consiste em picar o existente e aplicar um novo reboco, seguido de aplicação de um primário e tinta final. Para estas tarefas prevê-se um custo por metro quadrado de €20.00.

Nível 4

Este nível caracteriza-se por zonas com destacamento de reboco, betão danificado e armaduras à vista. Para reparar estas anomalias, deve-se proceder à limpeza e passivação das armaduras, seguida pela reparação do betão, aplicação de um novo reboco e acabamento com aplicação de primário e tinta de exteriores. O custo por metro quadrado previsto para estas tarefas pode variar entre os €25 e os €30.

No Quadro 3.1 encontra-se um resumo com as anomalias previstas, as técnicas de reparação e o custo por metro quadrado das mesmas para cada um dos quatro níveis de degradação definidos para este estudo.

Quadro 3.1 - Resumo dos níveis de degradação

Nível de Degradação	Anomalias	Técnicas de Reparação	Custo (€/m ²)
Nível 1	<ul style="list-style-type: none">Manchas de escorrência;Pequenas fissuras	<ul style="list-style-type: none">Lavagem;Aplicação de primário e tinta final.	12.50
Nível 2	<ul style="list-style-type: none">Manchas de escorrência;Fissuras	<ul style="list-style-type: none">Lavagem;Aplicação de argamassas não retrácteis;Aplicação de primário e tinta final.	17.50
Nível 3	<ul style="list-style-type: none">Manchas de escorrência;Fissuração generalizada	<ul style="list-style-type: none">Lavagem;Substituição do reboco;Aplicação de primário e tinta final.	20.00
Nível 4	<ul style="list-style-type: none">Manchas de escorrência;Destacamento do reboco;Zonas com betão e armadura à vista.	<ul style="list-style-type: none">Limpeza e passivação das armaduras;Reparação do betão;Substituição do reboco;Aplicação de primário e tinta final.	25.00 – 30.00

¹ Aos custos apresentados acrescem ainda encargos com o estaleiro, que podem ser considerados equivalentes a 10% do custo total da obra e ainda encargos com montagem e desmontagem de andaimes (4.15€/m² e 2.77€/m² respetivamente, de acordo com o portal *Gerador de Preços*).

A atribuição dos níveis de degradação às diferentes fachadas foi feita com o auxílio das fotografias recolhidas no levantamento, dos Autos de Vistoria e dos orçamentos das intervenções de beneficiação geral presentes nos registos de obra do Arquivo Municipal de Lisboa e ainda com informação recolhida nos inquéritos realizados.

3.2.3.2 Modelo de Degradação

Tal como mencionado anteriormente, o presente estudo tem como objetivo estimar a evolução temporal da condição das fachadas, procurando relacioná-la com os níveis de degradação definidos e atribuídos anteriormente. Posteriormente, resultará desta estimativa uma avaliação financeira que determine os momentos mais indicados para a realização de intervenções nas fachadas.

Desta forma, pretende-se que o modelo de degradação seja capaz de determinar, com base nos dados recolhidos, a duração de cada nível de degradação, os anos em que ocorrem as transições entre níveis e ainda aferir acerca da possível variação das degradações observadas dependendo de fatores como a orientação solar.

Abordagens de Cálculo

A análise dos dados recolhidos na fase de pesquisa será abordada segundo duas perspetivas distintas.

A diferença entre estas duas abordagens está relacionada com o método de análise da transição entre níveis de degradação. No primeiro caso são analisadas, para a determinação do momento de transição entre níveis, apenas as fachadas que ainda não transitaram. Assim, o número de anos entre intervenções numa determinada fachada representa o limite da transição para o nível seguinte. No segundo caso em análise, o momento de transição é condicionado não apenas pelo ano em que ocorre uma intervenção num certo nível de degradação, mas também pelo momento em que ocorreram as intervenções nas fachadas que se encontram no nível seguinte. Este método relaciona a transição com o momento em que ocorre uma sobreposição entre os dois níveis de degradação em análise.

Mecanismos de Análise

A análise dos dados deve ter em consideração as características dos mesmos. Uma vez que se pretende analisar a transição entre estados de degradação, o carácter categórico e ordinal desta variável condiciona as opções a tomar na escolha destes mecanismos.

Os mecanismos a utilizar devem assim adaptar-se a uma modelação T-ND (Tempo – Nível de Degradação) em que a variável dependente é discreta, ao contrário do que sucederia caso se pretendesse analisar a extensão da degradação provocada pelo tempo.

Desta forma, serão utilizados para esta análise Curvas de Transição, Matrizes de Transição, resultantes da aplicação do modelo estocástico da Cadeia de Markov e ainda a regressão logística ordinal.

Curvas de Transição

Os modelos de degradação são muitas vezes caracterizados por curvas de degradação que podem ser criadas tendo por base diversas regressões como são as curvas de Gompertz ou Weibull. Estas curvas são usadas maioritariamente em estudos nos quais se pretende analisar a percentagem de degradação

que ocorre ao longo do tempo. Alguns destes trabalhos são mencionados no capítulo 2- Revisão de Conhecimentos.

No entanto, e uma vez que se pretende analisar a transição entre níveis de degradação, optou-se por um método que analisasse, em cada ano, a probabilidade de uma fachada permanecer no nível em que se encontra. Desta forma, utilizou-se o método de Herz, muito recorrente em estudos que pretendam analisar curvas de transição entre estados.

Este modelo utiliza a relação

$$R(t) = \frac{A + 1}{A + e^{B(t-C)}} \quad (10)$$

- $R(t)$ – Percentagem da amostra (fachadas) que ainda não transitou para um nível de degradação superior, num determinado ano t ;
- A – Parâmetro de envelhecimento;
- B – Parâmetro de transição;
- C – Número de anos previstos num determinado nível de degradação.

O comportamento desta curva é caracterizado por uma primeira fase, em que existe uma grande resistência da amostra em transitar para o nível seguinte. Segue-se um período em que a probabilidade de não-transição diminui exponencialmente até atingir a idade média. A partir deste ponto a curva tende a reduzir novamente a sua inclinação e a aproximar-se de uma assíntota horizontal. Neste fase, as fachadas com maior resistência tendem a permanecer no mesmo estado de degradação ao longo do tempo.

Matriz de Transição

A Matriz de Transição é um método de organização da informação resultante do Processo de Markov.

O processo de Markov é um processo estocástico em que a probabilidade de um sistema se encontrar num estado i num período $(n+1)$ depende unicamente do estado em que se encontrava no período n . Ou seja, a probabilidade de qualquer comportamento futuro do processo não é alterado pelo conhecimento adicional do seu comportamento no passado, desde que seja conhecido o seu comportamento atual.

Uma sequência de estados envolvidos neste processo denomina-se Cadeia de Markov, cujos resultados são representados numa matriz de Transição, também conhecida como matriz estocástica ou matriz de Markov.

Cada elemento desta matriz traduz a probabilidade de um sistema se mover de um estado i para um estado j . Assim,

$$\Pr(j|i) = p_{ij} \quad (11)$$

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1j} & \dots \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2j} & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \\ p_{i1} & p_{i2} & \dots & p_{ij} & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \end{pmatrix} \quad (12)$$

Uma vez que a matriz de transição tem como objetivo analisar a transição entre todos os estados, esta será sempre quadrada.

No contexto da presente dissertação, pretende-se que esta matriz calcule a probabilidade de uma fachada transitar entre níveis. Assim, e uma vez que nenhuma fachada transitará para um nível inferior de degradação, $p_{ij}(i > j) = 0$.

Uma vez que cada linha da matriz de transição representa a probabilidade de uma certa fachada permanecer ou alterar o seu estado, a soma de todas essas probabilidades será um acontecimento certo. Assim,

$$\sum_{j=1}^k p_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (13)$$

Regressão Logística

Para analisar a evolução ao longo do tempo da degradação de uma fachada caracterizada pelos quatro níveis definidos anteriormente, é necessário aplicar uma regressão que seja ajustável a um gráfico T-ND (Tempo – Nível de Degradação). Como mencionado anteriormente, a regressão logística é aplicável em análises com variáveis qualitativas, pelo que se torna a mais indicada para o estudo pretendido.

De entre as diferentes regressões logísticas existentes, a regressão logística ordinal é a que melhor se ajustaria ao problema em análise, uma vez que considera o carácter ordinal da variável dependente (Nível de Degradação), visto que a transição entre níveis não ocorre de forma decrescente. Uma fachada de um edifício que apresente um nível de degradação n , evoluirá para o nível $n+1$ e nunca para o nível $n-1$.

No entanto, o modelo de odds proporcionais previsto na regressão logística ordinal não pode ser ajustado ao modelo em análise, uma vez que as curvas de degradação não são iguais em todos os níveis. Por outras palavras, um edifício cuja fachada esteja avaliada num nível de degradação 1 não transita para o nível 2 ao mesmo ritmo que uma fachada de nível 2 transita para o nível 3, por exemplo.

Desta forma, o modelo adotado foi uma regressão multinomial logística. Esta regressão, apesar de não atribuir uma ordem de classes, como a regressão logística ordinal, desenvolve uma equação para cada nível de degradação, o que permite considerar as diferentes curvas de idade em cada nível.

Esta regressão permite determinar a probabilidade de uma fachada ser avaliada em cada um dos níveis de degradação, em função da sua idade, sendo a idade o número de anos decorridos desde a última intervenção.

O modelo determina os coeficientes β para a variável dependente, que neste caso apresenta quatro classe diferentes (Nível 1, Nível 2, Nível 3 e Nível 4) e admite que o Nível 4 é o nível de referência. A determinação destes coeficientes permite estimar a probabilidade de cada nível de degradação em função da idade. A fórmula geral deste modelo pode ser vista no sub-capítulo 2.2.4.1 mencionado anteriormente.

Mecanismos Complementares de Análise

Os mecanismos complementares de análise têm como objetivo melhorar a análise decorrente dos mecanismos mencionados anteriormente. Neste estudo será usado, como mecanismo complementar de análise, a análise de variância (ANOVA). Esta análise será feita antes de se desenvolverem os modelos de degradação, de forma a aferir a possível influência da orientação solar na degradação das fachadas.

Análise de Variância

Do ponto de vista teórico, análise de variância – ANOVA (do inglês *analysis of variance*) – tem como principais objetivos analisar a existência de uma diferença significativa entre as médias de diferentes populações e concluir acerca da influência que essa diferença pode exercer em alguma variável dependente. Assim, este método é utilizado quando se pretende analisar se as diferenças amostrais observadas num dado estudo são resultantes de diferenças significativas entre as populações observadas ou se decorrem de uma mera variabilidade amostral.

Para que a ANOVA seja passível de ser utilizada, devem ser garantidos os seguintes pressupostos:

- As amostras devem ser aleatórias e independentes;
- As populações devem ter distribuições normais;
- As variâncias das populações devem ser homogêneas.

Desta forma, para esta análise a hipótese nula (H_0) é a igualdade entre as médias populacionais e a hipótese alternativa (H_1) é a diferença entre as médias populacionais, ou por outras palavras, uma das médias ser diferente das restantes.

$$H_0: m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_g$$

$$H_1: m_i \text{ não são todos iguais}$$

A análise consiste em estimar a variância (σ^2) por dois métodos distintos, um que não depende da veracidade de H_0 (MSD) e outro que depende (MSE). Para que as duas variâncias sejam semelhantes, o quociente entre ambas deve ser próximo de 1. Assim,

$$F = \frac{MSE}{MSD} \quad (14)$$

é a estatística de teste usada neste modelo. A hipótese H_0 é rejeitada quando MSE é consideravelmente superior a MSD, o que resulta em valores elevados de F. A análise deste teste é feita segundo o *p-value*, sendo:

$$p - value = P(F \geq f_0), \quad (15)$$

onde f_0 representa o valor observado de $\frac{MSE}{MSD}$.

Assim, a avaliação das hipóteses é feita com base no *p-value* calculado. Dependendo do nível de significância α escolhido (habitualmente igual a 0.001 ou 0.005), para $p - value < \alpha$, rejeita-se a hipótese de nulidade H_0 , ou por outras palavras, considera-se que existem diferenças significativas entre os tratamentos, ao nível de significância α .

Neste estudo, a análise da variância irá avaliar a relevância estatística das fachadas Norte (N), Sul (S), Este (E) e Oeste (W) para a degradação das fachadas em cada um dos quatro níveis de degradação.

3.2.4 Análise financeira

Uma vez determinados os custos de intervenção para cada um dos níveis de degradação e o número de anos necessários para que um edifício atinja cada um desses níveis, pretende-se com a análise financeira determinar o momento ideal para realizar uma intervenção, do ponto de vista dos custos envolvidos.

A primeira fase desta análise consiste em converter os preços determinados para o ano de 2017 nos preços correspondentes ao ano em que se prevê que essa intervenção possa ocorrer.

O ano previsto para cada uma dessas intervenções é calculado através dos resultados obtidos nos diferentes modelos estatísticos abordados neste estudo. Esta atualização de preços é feita através de uma progressão geométrica, que determina o custo de intervenção num determinado ano t , através do custo da mesma intervenção em 2017, através da relação:

$$Custo_t = Custo_{2017}(1 + ta)^{t-2017} \quad (16)$$

A taxa a aplicar nesta atualização é calculada a partir da fórmula de revisão de preços apresentada anteriormente (capítulo 2.3.2.1 – *Revisão de Preços*), calculada para intervalos de um ano. Neste estudo utilizaram-se os valores referentes aos meses de Dezembro de todos os anos, desde 2000 até 2016 (ano dos últimos dados de Dezembro publicados). A taxa utilizada na fórmula anteriormente apresentada resulta da média de todas as taxas anuais obtidas neste processo.

A fórmula de revisão de preços utilizada e apresentada anteriormente tem a forma:

$$C_t = a \frac{S_t}{S_0} + \sum_{i=1}^n bi \frac{Mi_t}{Mi_0} + c \frac{E_t}{E_0} + d \quad (17)$$

Os valores de a,b,c,d estão tabelados e variam apenas pelo tipo de obra para o qual se está a calcular a revisão de preços. Já os valores de $\frac{S_t}{S_0}$, $\frac{M_i t}{M_i 0}$, e $\frac{E_t}{E_0}$ denominam-se índices de custo de mão-de-obra, materiais e equipamentos de apoio, respetivamente e são definidos mensalmente e publicados em Diário da República trimestralmente. Fazendo um rácio entre os valores dos índices para o mesmo mês em anos consecutivos, como por exemplo Dezembro de 2014 e Dezembro de 2015, é possível determinar a evolução do preço durante um ano.

A média referida em cima é assim calculada pelos diferentes Ct, determinados anualmente desde 2000 até 2016.

Uma vez determinada a taxa a utilizar na atualização de preços, o custo de intervenção em cada nível de degradação e o número de anos médio necessário para que um edifício atinja esse nível de degradação, é possível, utilizando a equação 16, determinar o custo no futuro.

Para que seja possível analisar os custos de intervenção e perceber o que esses custos futuros representariam no presente, deve ser determinado o VAL e o CAE.

Para isso é necessário determinar a taxa de atualização a aplicar, que varia em função da inflação, do rendimento e do risco. A parcela da inflação pode ser determinada pelo método anteriormente descrito. Quanto às parcelas do rendimento e do risco, é comum considerar uma percentagem única que englobe as duas variáveis, que tomam habitualmente valores entre os 3 e os 5%.

Estas diferentes taxas são depois combinadas segundo a relação:

$$TA = [(1 + T1)(1 + T2)(1 + T3)] \quad (18)$$

onde T1, T2 e T3 representam respetivamente a inflação, o rendimento e o risco.

O VAL tem como objetivo traduzir os custos futuros em custos atuais, de forma a poder compará-los e calcula-se da seguinte forma:

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - (I_t + C_t)}{(1 + TA)^t} \quad (19)$$

Com o VAL calculado para cada nível de intervenção, é possível determinar o CAE (Custo Anual Equivalente). Com este indicador financeiro, pretende-se comparar custos com durações diferentes, ou seja, comparar por exemplo um custo no nível 2, associado a um determinado número de anos, com o custo no nível 3, associado a um maior número de anos. A fórmula de cálculo do CAE segue a seguinte relação:

$$CAE = VAL \left[\frac{TA(1 + TA)^n}{(1 + TA)^n - 1} \right] \quad (20)$$

Desta forma foi possível estimar o custo de intervenção futuro de um edifício, caso o mesmo tivesse sido reabilitado em 2017 e se tivesse degradado durante o número de anos necessários até atingir uma idade média para cada nível de degradação determinado.

4 Análise dos resultados

4.1 Descrição geral da amostra

Como mencionado anteriormente, no capítulo 3, a amostra utilizada neste estudo localiza-se no bairro de Alvalade, nas ruas Luís Augusto Palmeirim, Marquesa Alorna, Acácio de Paiva, José d'Esaguy e José Duro. No total, foram recolhidas informações sobre 49 edifícios, divididos da seguinte forma.

Quadro 4.1 - Número de edifícios analisados

	Frequência	Frequência (%)
Rua Luís Augusto Palmeirim	9	18%
Rua Marquesa Alorna	10	20%
Rua Acácio de Paiva	12	24%
José D'Esaguy	6	12%
Rua José Duro	12	24%

A distribuição por ruas torna-se relevante pela orientação solar predominante nas fachadas em estudo. Apenas na Rua Luís Augusto Palmeirim existe uma predominância das orientações Norte e Sul, sendo que existem alguns edifícios que por estarem localizados na confluência desta rua com as restantes, estão sinalizados como tendo duas orientações solares, sendo contabilizados apenas numa das duas ruas da sua envolvente.

No Quadro 4.2 é possível verificar esta situação havendo 4 edifícios (8%) sinalizados como Norte (N) e Este (E) e 2 edifícios (4%) como Norte (N) e Oeste (W).

Quadro 4.2 - Orientações Solares dos edifícios analisados

Orientação Solar	Frequência	Frequência (%)
N	1	2%
N,E	4	8%
N,W	2	4%
S	8	16%
E	19	39%
W	15	31%

Para estes casos, a análise da influência da orientação solar na periodicidade de intervenções na fachada terá em atenção as duas orientações existentes, de modo a perceber se a orientação teoricamente mais condicionante tem mais influência que a outra.

Para o estudo do tempo decorrente entre intervenções, a amostra aumenta para 131 uma vez que cada um dos edifícios foi intervencionado mais do que uma vez no seu período de existência. A Figura 4.1

permite analisar o número de intervenções que ocorreram em cada ano, desde o ano de construção dos edifícios da amostra (1948 ou 1948) até aos dias de hoje.

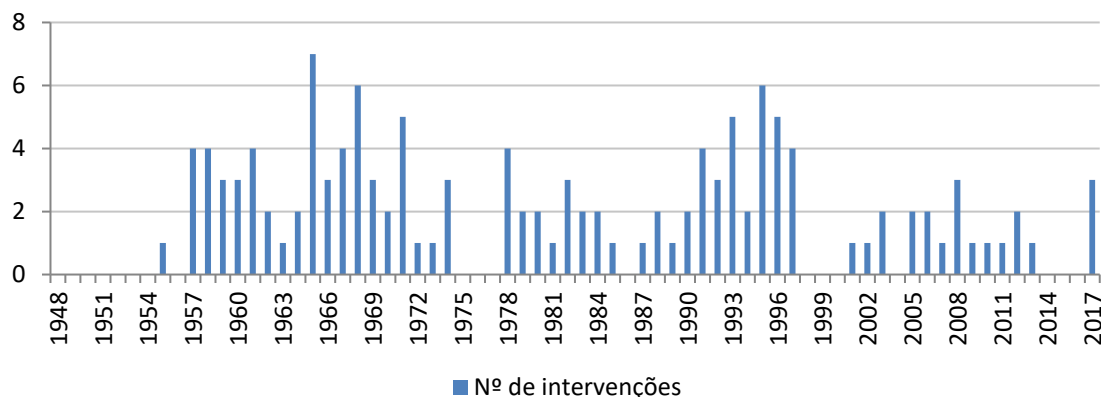


Figura 4.1 -Número de intervenções ao longo dos anos

Deste gráfico é possível detetar alguns períodos em que não ocorreu qualquer intervenção. O período até 1955 é explicado pela construção recente dos edifícios. Já o período decorrido entre 1975 e 1977 pode ser interpretado como uma consequência do Processo Revolucionário em Curso (PREC), bem como o período decorrido entre 2014 e 2016 pode ser explicado como uma consequência da recente crise económica.

Deste gráfico é ainda possível verificar um ciclo de períodos com maior número de intervenções. De facto, verifica-se que entre a segunda metade da década de 60 e o início da década de 70 existe um maior número de intervenções. O mesmo acontece na primeira metade da década de 90.

A Figura 4.2 analisa os mesmos dados do gráfico anterior, mas divide-os em 1ª, 2ª, 3ª ou 4ª intervenção.

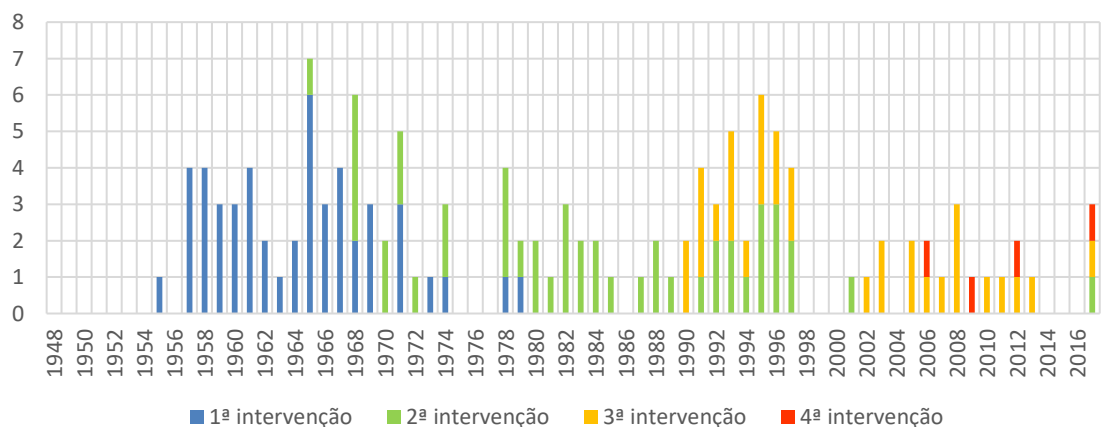


Figura 4.2 - Número e frequência de intervenções ao longo dos anos

A análise deste gráfico permite verificar que a primeira intervenção é aquela que acontece num período de tempo mais definido, entre 1955 e 1979. Tal pode ser explicado pelo facto de neste período, estes edifícios estarem inseridos num programa de rendas acessíveis, sendo a reabilitação das fachadas

financiada pelo estado. A partir do momento em que esta decisão passa a pertencer aos proprietários dos imóveis, os períodos de decisão de intervenção tornam-se mais dispersos.

No entanto, é possível verificar que, na sua grande maioria, as segundas intervenções ocorreram entre 1965 e 1997, havendo apenas dois edifícios a serem intervencionados pela segunda vez depois desse ano.

As terceiras intervenções ocorrem desde 1990 e apenas quatro edifícios, que correspondem a 9% da amostra, receberam uma quarta intervenção no período decorrido entre 1948 e 2017.

O Quadro 4.3 permite analisar esta amostra de dados, dividindo-os em intervalos de 5 anos cada. Do quadro é possível verificar que 79% da amostra recolhida apresenta um número de anos entre intervenções que varia entre os 10 e os 25 anos, mostrando ser neste intervalo de idades que ocorrem a maioria das intervenções.

Quadro 4.3 - Intervalos de tempo entre intervenções

Idade	Frequência	Frequência (%)
[0;5[	0	0%
[5;10[	9	7%
[10;15[	32	24%
[15;20[	41	31%
[20;25[	30	23%
[25;30[	13	10%
[30;35[	3	2%
[35;40[	2	2%
[40;45[	1	1%

Do quadro anterior também é possível concluir que apenas no intervalo entre os 5 e 10 anos após uma intervenção começam a ocorrer novas intervenções, sendo ainda assim numa percentagem de apenas 7% da amostra. Com o aumento do número de anos entre intervenções, é de prever um incremento da degradação das fachadas. Como mencionado anteriormente, para o presente estudo definiram-se quatro níveis de degradação, do 1 ao 4. Desta definição de 4 níveis, resultou uma distribuição que pode ser analisada no Quadro 4.4

Quadro 4.4 - Número de edifícios em cada nível de degradação

Nível de Degradação	Frequência	Frequência (%)
1	32	24%
2	65	50%
3	31	24%
4	3	2%

Na Figura 4.3 é possível analisar o nível de degradação atribuído tendo em conta o número de anos decorrentes desde a última intervenção. É possível verificar que os primeiros registos ocorrem sete anos após a última intervenção. Do mesmo gráfico verifica-se ainda que o nível 1 ocorre até aos 16 anos após a última intervenção, o nível 2 entre os 12 e os 25, o nível 3 entre os 16 e os 31 anos e o nível 4 ocorre apenas em casos pontuais, tendo sido registado em apenas 3 edifícios, nomeadamente aos 35, 39 e 42 anos.

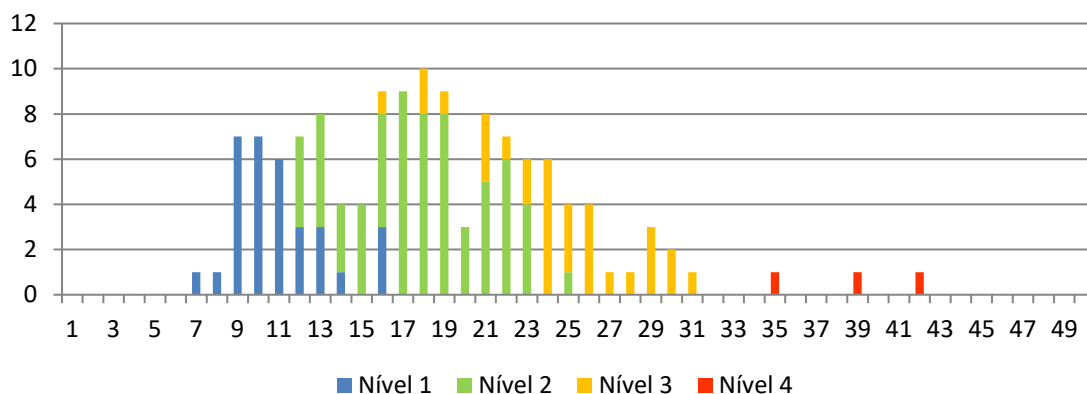


Figura 4.3 - Número de anos entre intervenções em cada nível de degradação

No Quadro 4.3 apresentam-se os resultados da análise da amostra recolhida, tendo como base uma diferenciação por nível de degradação e, dentro de cada nível, a avaliação estatística da idade das fachadas.

Quadro 4.5 - Avaliação estatística das idades das fachadas por nível de degradação e orientação solar.

Orientação		Nível 1		Nível 2		Nível 3		Nível 4		
		Valor	Erro Padrão	Valor	Erro Padrão	Valor	Erro Padrão	Valor	Erro Padrão	
E	Média	10,62	0,665	19,09	0,654	23,58	0,892	38,5	3,5	
	95% Inter. de Conf. para Média	Limite inferior	9,17	17,73		21,62		-5,97		
		Limite superior	12,07	20,45		25,55		82,97		
	5% da média aparada	10,52		19,1		23,65		.		
	Mediana	11		19		24		38,5		
	Variância	5,756		9,42		9,538		24,5		
	Desvio Padrão	2,399		3,069		3,088		4,95		
	Mínimo	7		13		18		35		
	Máximo	16		25		28		42		
	Amplitude	9		12		10		7		
	Amplitude interquartil	3		5		4		.		
	Assimetria	0,752	0,616	0,004	0,491	-0,907	0,637	.	.	
Curtose	0,831	1,191	-0,681	0,953	0,202	1,232	.	.		
N	Média	14	2	16,44	0,603	27,14	1,438	38,5	3,5	
	95% Inter. de Conf. para Média	Limite inferior	-11,41	15,05		23,62				

Orientação		Nível 1		Nível 2		Nível 3		Nível 4		
		Valor	Erro Padrão	Valor	Erro Padrão	Valor	Erro Padrão	Valor	Erro Padrão	
	Limite superior	39,41	17,84		30,66					
	5% da média aparada	.		16,55		27,27				
	Mediana	14		17		29				
	Variância	8		3,278		14,476				
	Desvio Padrão	2,828		1,81		3,805				
	Mínimo	12		13		21				
	Máximo	16		18		31				
	Amplitude	4		5		10				
	Amplitude interquartil	.		3		6				
	Assimetria	.	.	-1,185	0,717	-0,687	0,794			
	Curtose	.	.	0,274	1,4	-1,149	1,587			
S	Média	11,43	0,922	16,57	1,093	25,25	1,652			
	95% Inter. de Conf. para Média	Limite inferior	9,17	14,21		19,99				
		Limite superior	13,68	18,93		30,51				
	5% da média aparada	11,31		16,47		25,22				
	Mediana	10		17		25				
	Variância	5,952		16,725		10,917				
	Desvio Padrão	2,44		4,09		3,304				
	Mínimo	9		12		22				
	Máximo	16		23		29				
	Amplitude	7		11		7				
	Amplitude interquartil	3		7		6				
Assimetria	1,23	0,794	0,227	0,597	0,229	1,014				
Curtose	1,057	1,587	-1,384	1,154	-3,869	2,619				
W	Média	10,5	0,5	17,9	0,676	23	1,488			
	95% Inter. de Conf. para Média	Limite inferior	9,37	16,48		19,48				
		Limite superior	11,63	19,32		26,52				
	5% da média aparada	10,39		17,94		23,06				
	Mediana	10		18		23,5				
	Variância	2,5		9,147		17,714				
	Desvio Padrão	1,581		3,024		4,209				
	Mínimo	9		13		16				
	Máximo	14		22		29				
	Amplitude	5		9		13				
	Amplitude interquartil	2		6		7				
Assimetria	1,265	0,687	-0,148	0,512	-0,368	0,752				
Curtose	1,619	1,334	-1,184	0,992	-0,385	1,481				

Importa salientar que o número de casos na orientação a Norte (N) é reduzida em qualquer um dos níveis, pelo que os resultados para essa orientação devem ter esse facto em consideração. Também no que concerne ao nível 4, a amostra é reduzida visto que a prática observada na maioria dos casos foi proceder à reabilitação das fachadas antes da degradação atingir esse nível.

Com exceção dos casos em que a dimensão da amostra era manifestamente reduzida, os testes de *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilk* confirmam a normalidade das amostras.

4.2 Influência da orientação na degradação

Para além da idade, as fachadas diferem fundamentalmente em termos da respetiva orientação, visto que se selecionou o caso de estudo de modo a minimizar a influência de outros fatores potencialmente relevantes para explicar a degradação. Como as estatísticas descritivas indicam pequenas diferenças entre as várias orientações, recorreu-se à ANOVA (Análise de Variância) para testar a diferença entre as idades médias de transição de nível de degradação das várias fachadas. Nos quadros em baixo apresentam-se os resultados desta análise.

Quadro 4.6 - ANOVA (Nível 1)

Idade					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	23,678	3	7,893	1,633	0,204
Nos grupos	135,291	28	4,832		
Total	158,969	31			

Quadro 4.7 - ANOVA - Nível 2

Idade					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	74,516	3	24,839	2,463	0,071
Nos grupos	615,269	61	10,086		
Total	689,785	64			

Quadro 4.8 - ANOVA (Nível 3)

Idade					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	79,154	3	26,385	2,044	0,131
Nos grupos	348,524	27	12,908		
Total	427,677	30			

Quadro 4.9 - ANOVA (Nível 4)

Idade					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	0,167	1	0,167	0,007	0,948
Nos grupos	24,5	1	24,5		
Total	24,667	2			

Em relação ao nível 2, o teste de *Levene* indica que a variância não é homogênea e os testes de *Welch and Brown-Forsythe* são contraditórios. Considerando um nível de significância de 0.05, o primeiro indica a existência de diferenças estatisticamente significativas, ao contrário do segundo.

Quadro 4.10 - Testes Robustos de Igualdade de Médias (Nível 2)

Idade	Estatística ¹	gl1	gl2	Sig.
Welch	3,17	3	29,639	0,039
Brown-Forsythe	2,614	3	44,655	0,063

1. F distribuído assintoticamente.

Analisando os resultados dos testes *posteriori*, em particular os de *Games-Howell*, que não assumem homogeneidade das variâncias, observa-se que existe uma diferença estatisticamente significativa entre as idades das fachadas de nível 2 orientadas a Norte e Este.

Contudo, no cômputo geral e tendo em consideração que as idades das fachadas podem não corresponder aos momentos de transição entre níveis de degradação, a amostra não permite constatar qualquer influência estatisticamente significativa da orientação na taxa de deterioração das fachadas.

Quadro 4.11 - Comparações Múltiplas considerando a idade como variável dependente (Nível 2)

Idade	(I) Orientação	(J) Orientação	Diferença média (I-J)	Erro	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
						Limite inferior	Limite superior
Tukey HSD	E	N	2,65	1,257	0,163	-0,67	5,97
		S	2,52	1,086	0,105	-0,35	5,39
		W	1,19	0,981	0,621	-1,4	3,78
	N	E	-2,65	1,257	0,163	-5,97	0,67
		S	-0,13	1,357	1	-3,71	3,46
		W	-1,46	1,275	0,665	-4,82	1,91
	S	E	-2,52	1,086	0,105	-5,39	0,35
		N	0,13	1,357	1	-3,46	3,71
		W	-1,33	1,107	0,629	-4,25	1,59
	W	E	-1,19	0,981	0,621	-3,78	1,4
		N	1,46	1,275	0,665	-1,91	4,82

Idade	(I) Orientação	(J) Orientação	Diferença média (I-J)	Erro	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
						Limite inferior	Limite superior
		S	1,33	1,107	0,629	-1,59	4,25
Gabriel	E	N	2,65	1,257	0,189	-0,69	5,98
		S	2,52	1,086	0,127	-0,41	5,45
		W	1,19	0,981	0,781	-1,47	3,85
	N	E	-2,65	1,257	0,189	-5,98	0,69
		S	-0,13	1,357	1	-3,79	3,53
		W	-1,46	1,275	0,812	-4,85	1,94
	S	E	-2,52	1,086	0,127	-5,45	0,41
		N	0,13	1,357	1	-3,53	3,79
		W	-1,33	1,107	0,787	-4,32	1,66
	W	E	-1,19	0,981	0,781	-3,85	1,47
		N	1,46	1,275	0,812	-1,94	4,85
		S	1,33	1,107	0,787	-1,66	4,32
Hochberg	E	N	2,65	1,257	0,21	-0,76	6,06
		S	2,52	1,086	0,132	-0,43	5,47
		W	1,19	0,981	0,782	-1,47	3,85
	N	E	-2,65	1,257	0,21	-6,06	0,76
		S	-0,13	1,357	1	-3,81	3,56
		W	-1,46	1,275	0,825	-4,92	2,01
	S	E	-2,52	1,086	0,132	-5,47	0,43
		N	0,13	1,357	1	-3,56	3,81
		W	-1,33	1,107	0,79	-4,33	1,68
	W	E	-1,19	0,981	0,782	-3,85	1,47
		N	1,46	1,275	0,825	-2,01	4,92
		S	1,33	1,107	0,79	-1,68	4,33
Games-Howell	E	N	2,65*	0,89	0,031	0,2	5,1
		S	2,52	1,274	0,226	-1,02	6,05
		W	1,19	0,941	0,59	-1,33	3,71
	N	E	-2,65*	0,89	0,031	-5,1	-0,2
		S	-0,13	1,249	1	-3,63	3,38
		W	-1,46	0,906	0,394	-3,95	1,04
	S	E	-2,52	1,274	0,226	-6,05	1,02
		N	0,13	1,249	1	-3,38	3,63
		W	-1,33	1,285	0,732	-4,89	2,23
	W	E	-1,19	0,941	0,59	-3,71	1,33
		N	1,46	0,906	0,394	-1,04	3,95
		S	1,33	1,285	0,732	-2,23	4,89

Com base em médias observadas.

O termo de erro é Quadrado Médio (Erro) = 10,086.

*. A diferença média é significativa no nível .05.

4.3 Curva de Herz

Para analisar a transição entre os diferentes níveis de degradação recorreu-se às curvas de *Herz*. A utilização destas curvas em detrimento de outras mais comuns neste tipo de análises como a curva de *Weibull* e a curva de *Gompertz* deve-se ao facto de se pretender analisar a probabilidade de transição de uma forma descendente, ou seja, analisar a probabilidade de um edifício permanecer no nível em que se encontra. Na Figura 4.4 é possível verificar os resultados obtidos para a curva de Herz.

Da análise da Figura 4.4, é possível também verificar que existe uma sobreposição entre níveis de degradação. De facto, observa-se no gráfico que entre os 12 e os 16 anos, existem edifícios que permanecem no nível 1 e outros que transitam para o nível 2 de degradação. A partir do 16º ano, existem edifícios que transitam para o nível 3, ocorrendo uma sobreposição com o nível 2 até ao 25º ano.

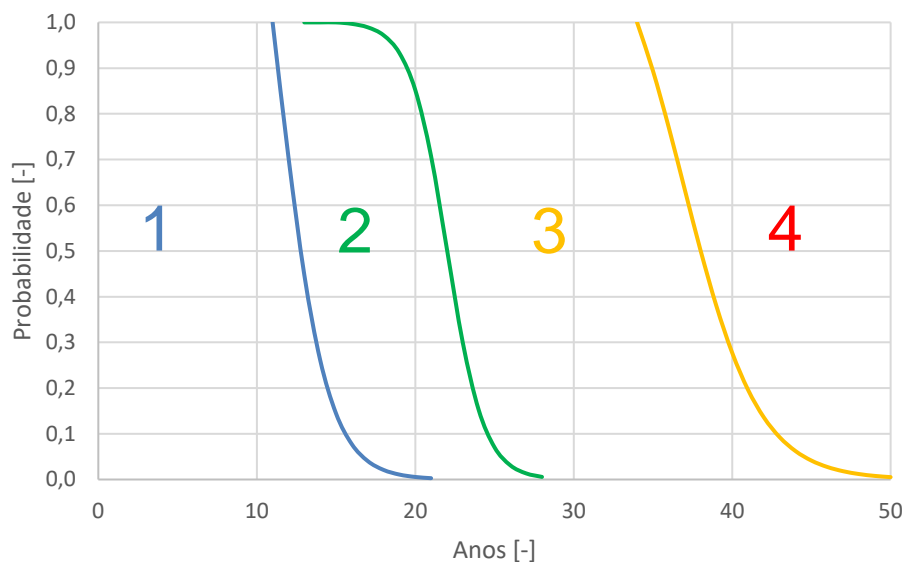


Figura 4.4 - Curvas de Transição entre Níveis de degradação

É possível verificar, pela análise das curvas determinadas, que a transição entre o nível 1 e o nível 2 ocorre em 10 anos, entre os 11 e os 21 anos, sendo possível verificar uma diminuição da taxa de variação ao longo do tempo. Verifica-se que existe uma probabilidade de cerca de 50% de um edifício transitar para o nível 2 nos primeiros 2 anos do intervalo de transição (até aos 13 anos) e uma probabilidade de aproximadamente 10% de um edifício não ter transitado de nível nos primeiros 5 anos do intervalo (até aos 16 anos).

A transição entre o nível 2 e o nível 3 ocorre em 15 anos (entre os 13 e os 28 anos de idade) e caracteriza-se por uma primeira fase com uma taxa de transição muito reduzida, uma segunda fase onde existe um grande incremento dessa mesma taxa e uma terceira fase onde volta a existir uma redução de transição. Verifica-se a existência de uma probabilidade de apenas 15% de ocorrer uma transição entre níveis nos primeiros 7 anos (até aos 20 anos de idade), o que corresponde a cerca de 47% do intervalo de transição. Entre os 7 e os 11 anos do intervalo (20 e 24 anos de idade,

respetivamente) ocorre um considerável aceleração da taxa de transição, sendo que ao fim destes 4 anos existe uma probabilidade de 90% de já ter ocorrido uma transição entre os níveis em análise. Cerca de metade da amostra transita para o nível 3 até aos 22 anos.

A curva de transição entre o nível 3 e 4 está condicionada pelo facto de se terem observado apenas 3 edifícios que atingiram este nível de degradação. Verifica-se uma transição que ocorre aproximadamente em 17 anos (entre os 33 e os 50 anos), havendo uma probabilidade de 50% de um edifício transitar de nível nos primeiros 5 anos (até aos 38 anos de idade) e uma probabilidade de 30% de um edifício transitar nos últimos 10 anos deste intervalo (entre os 40 e os 50 anos de idade).

4.4 Matriz de transição

Para além da curva de *Herz* analisada anteriormente, determinou-se ainda uma matriz de Transição. Esta matriz permite determinar, em cada ano, a probabilidade de um certo edifício da amostra estar em cada um dos níveis de degradação definidos. O Quadro 4.12 apresenta os resultados obtidos.

Quadro 4.12 - Matriz de Transição entre níveis de degradação

Idade	P(N1)	P(N2)	P(N3)	P(N4)
0	1	0	0	0
1	0,908009	0,091991	0	0
2	0,824481	0,172223	0,003296	0
3	0,748637	0,241897	0,009435	3,05E-05
4	0,679769	0,302099	0,018014	0,000118
5	0,617237	0,353808	0,02867	0,000285
6	0,560457	0,397912	0,04108	0,000551
7	0,5089	0,435213	0,054955	0,000931
8	0,462086	0,466435	0,070038	0,00144
9	0,419579	0,492232	0,0861	0,002089
10	0,380982	0,513195	0,102937	0,002887
11	0,345935	0,529855	0,120369	0,003841
12	0,314112	0,542695	0,138236	0,004956
13	0,285217	0,552148	0,156398	0,006237
14	0,25898	0,558604	0,17473	0,007686
15	0,235156	0,562415	0,193124	0,009305
16	0,213524	0,563898	0,211484	0,011095
17	0,193882	0,563338	0,229727	0,013054
18	0,176046	0,560991	0,24778	0,015183
19	0,159852	0,557087	0,265583	0,017478
20	0,145147	0,551834	0,28308	0,019939
21	0,131795	0,545416	0,300227	0,022562
22	0,119671	0,537999	0,316986	0,025344
23	0,108662	0,529733	0,333323	0,028281
24	0,098666	0,520751	0,349213	0,03137

Idade	P(N1)	P(N2)	P(N3)	P(N4)
25	0,08959	0,511171	0,364634	0,034605
26	0,081349	0,501099	0,379569	0,037984
27	0,073865	0,49063	0,394004	0,041501
28	0,06707	0,479847	0,407931	0,045151
29	0,060901	0,468826	0,421342	0,048931
30	0,055298	0,457632	0,434235	0,052835
31	0,050211	0,446324	0,446606	0,056859
32	0,045592	0,434952	0,458458	0,060997
33	0,041398	0,423564	0,469793	0,065245
34	0,03759	0,412197	0,480615	0,069598
35	0,034132	0,400888	0,490929	0,074051
36	0,030992	0,389665	0,500743	0,0786
37	0,028141	0,378556	0,510063	0,083239
38	0,025553	0,367583	0,518899	0,087965
39	0,023202	0,356764	0,527261	0,092773
40	0,021068	0,346117	0,535157	0,097659
41	0,01913	0,335655	0,542598	0,102617
42	0,01737	0,325389	0,549596	0,107645
43	0,015772	0,31533	0,556161	0,112737
44	0,014321	0,305484	0,562305	0,11789
45	0,013004	0,295857	0,568039	0,123101
46	0,011807	0,286453	0,573375	0,128364
47	0,010721	0,277277	0,578325	0,133677
48	0,009735	0,26833	0,5829	0,139035
49	0,00884	0,259612	0,587113	0,144436
50	0,008026	0,251124	0,590973	0,149876
51	0,007288	0,242866	0,594495	0,155352
52	0,006618	0,234835	0,597687	0,16086
53	0,006009	0,227031	0,600562	0,166398
54	0,005456	0,21945	0,603131	0,171963
55	0,004954	0,21209	0,605405	0,177551
56	0,004498	0,204947	0,607394	0,183161
57	0,004085	0,198018	0,609109	0,188789
58	0,003709	0,1913	0,610559	0,194432
59	0,003368	0,184787	0,611755	0,20009
60	0,003058	0,178477	0,612707	0,205758
61	0,002777	0,172364	0,613424	0,211435
62	0,002521	0,166444	0,613916	0,217119
63	0,002289	0,160713	0,61419	0,222807
64	0,002079	0,155166	0,614257	0,228498
65	0,001887	0,149798	0,614125	0,234189

Comparando os resultados obtidos com aqueles resultantes das curvas de *Herz*, é possível verificar que as transições entre os diferentes níveis são mais dispersas. Analisando a Figura 4.5, é possível perceber que na transição do Nível 1 para o Nível 2, verifica-se uma probabilidade de cerca de 17% de o edifício já ter transitado de nível ao fim do segundo ano de idade. Na curva de *Herz*, essa percentagem é atingida apenas ao fim de 12 anos. Verifica-se ainda que ao fim de 10 anos a probabilidade de um edifício estar no Nível 2 é superior a 50%.

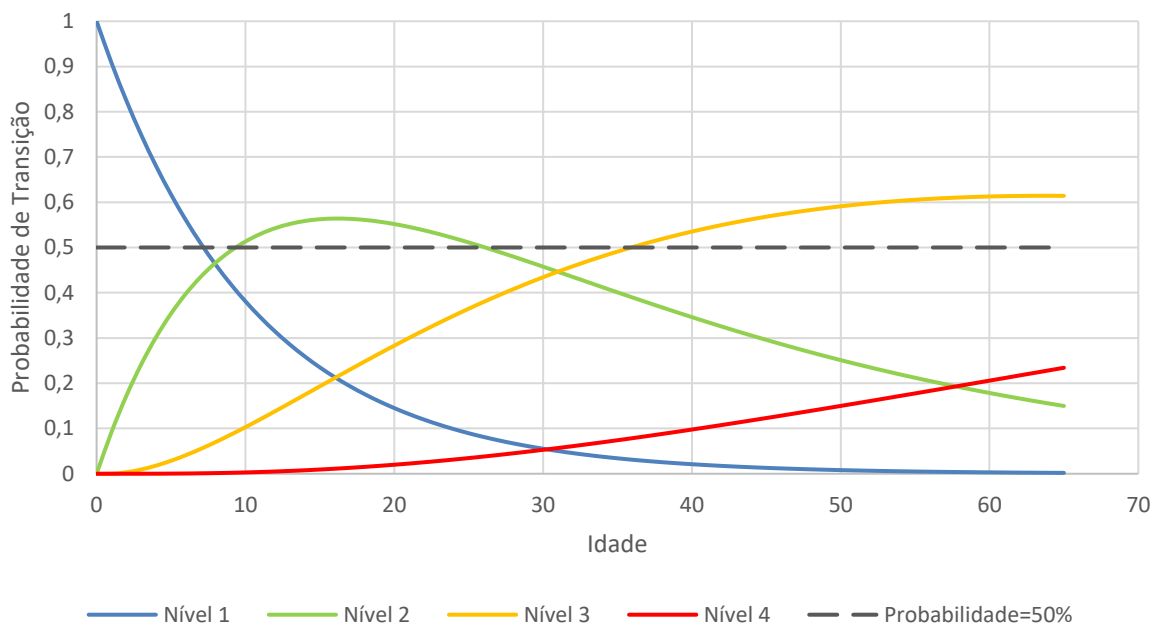


Figura 4.5 - Probabilidade de Transição

Na transição para o Nível 3, verifica-se que apenas aos 36 anos existe uma probabilidade de 50% de os edifícios já terem transitado para esse nível ao contrário da curva de *Herz*, cuja probabilidade ocorre aos 23 anos. Aos 44 anos existe ainda uma probabilidade de cerca de 30% de um edifício apresentar-se no nível 2 de degradação, ao contrário da curva de *Herz*, cuja transição para o Nível 3 ocorre na totalidade ao fim de 28 anos.

Os resultados obtidos para a transição para o nível 4 são condicionados pelo facto de haver apenas 3 edifícios que atingem esse estado. Esta condicionante resulta numa probabilidade de 61% de os edifícios ainda estarem no nível 3 ao fim de 65 anos e de essa probabilidade estar a estabilizar nessa idade, ao contrário do que seria de esperar.

4.5 Regressão logística

Sendo a variável explicativa categórica (nível de degradação) ordenada, recorreu-se à regressão logística ordinal para obter um modelo de previsão da condição da fachada. Uma vez que a orientação não aparenta influenciar a degradação das fachadas na amostra recolhida, a única variável independente considerada foi a idade.

O modelo de regressão nominal obtido é estatisticamente significativo e atinge um pseudo R² de Nagekerke de 0.821.

Quadro 4.13 - Informações de ajuste do modelo logístico

Modelo	Log da Verossimilhança -2	Qui-quadrado	gl	Sig.
Somente intercepto	230,807			
Final	57,543	173,265	1	0

Função de ligação: Logito.

Quadro 4.14 - Adequação do ajuste do modelo logístico

	Qui-quadrado	gl	Sig.
Pearson	33,648	80	1
Deviance	33,802	80	1

Função de ligação: Logito.

Os parâmetros do modelo (com uma função de ligação logística) apresentam-se de seguida. Contudo, o teste de linhas paralelas, que avalia se a probabilidade de cada classe é igual, não é significativo, o que condiciona os resultados obtidos.

Quadro 4.15 - Estimativas de Parâmetro

		Estimativa	Erro Padrão	Wald	gl	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
							Limite inferior	Limite superior
Limite	[Nível = 1]	8,894	1,279	48,357	1	0	6,387	11,401
	[Nível = 2]	15,332	2,048	56,024	1	0	11,317	19,346
	[Nível = 3]	23,39	3,234	52,296	1	0	17,05	29,729
Localização	Idade	0,687	0,093	54,468	1	0	0,504	0,869

Função de ligação: Logito.

Quadro 4.16 - Teste de Linhas Paralelas

Modelo	Log da Verossimilhança -2	Qui-quadrado	gl	Sig.
Hipótese nula	57,543			
Geral	,000 ^b	57,543	2	0

A hipótese nula declara que os parâmetros de localização (coeficientes de inclinação) são os mesmos entre categorias de resposta.

Função de ligação: Logito.

b. O valor de log da verossimilhança é praticamente zero. Pode haver uma separação completa nos dados. As estimativas de máxima verossimilhança não existem.

Assim, alternativamente desenvolveu-se o modelo de regressão logística multinomial. Este modelo prevê uma equação distinta para cada classe da variável dependente, exceto a classe de referência

(neste caso definida com o nível 4). O modelo obtido é estatisticamente significativo, obtendo-se um pseudo R^2 de Nagelkerke de 0.829.

Quadro 4.17 - Informações de ajuste do modelo multinomial

Modelo	Critérios de ajuste do modelo			Testes de razão de verossimilhança		
	AIC	BIC	Log da Verossimilhança -2	Qui-quadrado	gl	Sig.
Somente intercepto	236,807	245,433	230,807			
Final	65,942	83,193	53,942	176,865	3	0

Quadro 4.18 - Adequação do ajuste multinomial

	Qui-quadrado	gl	Sig.
Pearson	28,57	78	1
Deviance	30,201	78	1

Quadro 4.19 - Pseudo R quadrado do modelo multinomial

Cox e Snell	0,741
Nagelkerke	0,829
McFadden	0,603

Os coeficientes obtidos permitem observar que o declive de cada classe é diferente, aumentando de -7.395 para o nível 1 até -6.030 para o nível 3.

Quadro 4.20 - Estimativas de Parâmetro (Nível 4 como nível de referência)

Nível	B	Erro Padrão	Wald	Gl	Sig.	Exp(B)	95% Intervalo de Confiança para Exp(B)	
							Limite inferior	Limite superior
1	Intercepto	221,591	287,771	0,593	1	0,441		
	Idade	-7,395	0,206	1283,924	1	0	0,001	0	0,001
2	Intercepto	210,971	287,762	0,538	1	0,463		
	Idade	-6,577	0,113	3376,764	1	0	0,001	0,001	0,002
3	Intercepto	198,696	287,751	0,477	1	0,49		
	Idade	-6,03	0	.	1	.	0,002	0,002

O modelo obtido prevê corretamente 81.7% dos casos da amostra, sendo o pior desempenho na classificação das fachadas no nível 3 (74.2%).

Nas figuras em seguintes (Figura 4.6 e Figura 4.7) encontram-se representadas as probabilidades de uma fachada apresentar um determinado nível de degradação em cada ano.

Quadro 4.21 - Percentagens de acertividade do modelo multinomial

Observado	Predito				Percentagem Correta
	1	2	3	4	
1	25	7	0	0	78,10%
2	4	56	5	0	86,20%
3	0	8	23	0	74,20%
4	0	0	0	3	100,00%
Percentagem global	22,10%	54,20%	21,40%	2,30%	81,70%

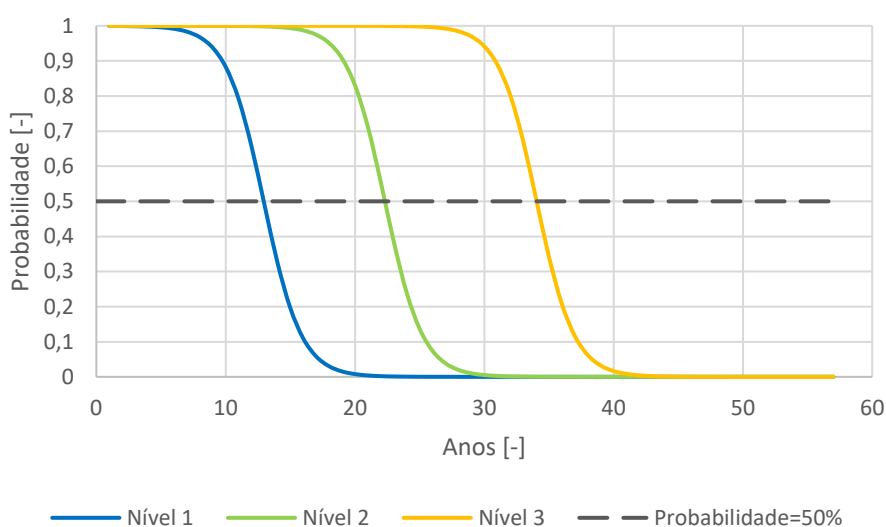


Figura 4.6 - Probabilidades associadas à regressão logística ordinal

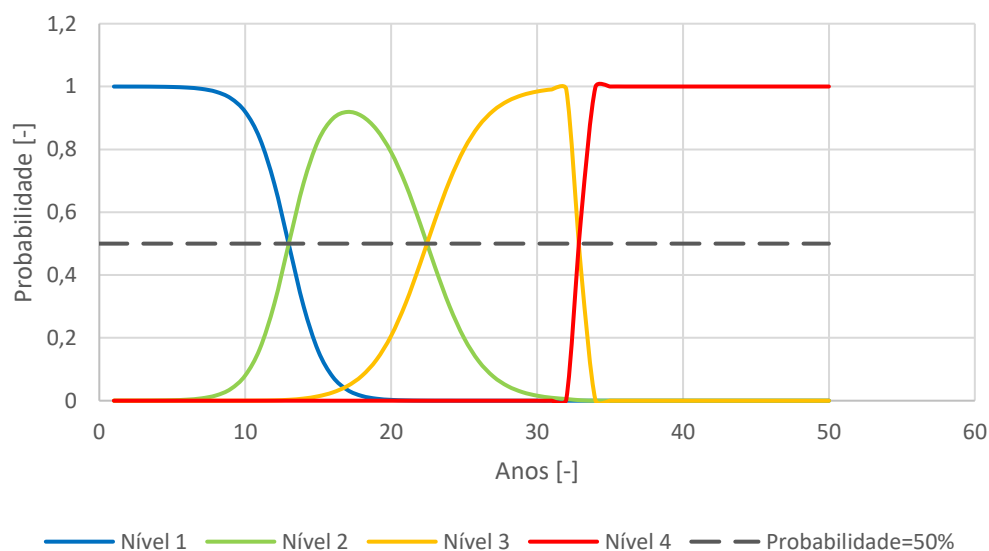


Figura 4.7 - Probabilidade associada à regressão multinomial logística

Os gráficos em cima apresentam resultados diferentes mas a interpretação que resulta de cada um pode ser objeto de comparação. Na regressão multinomial logística, apenas o nível 1 inicia com probabilidade significativa e a transição realiza-se quando se dá a interseção com a curva do nível

seguinte. Por outro lado, a regressão logística ordinal é cumulativa, o que faz com que todos os níveis iniciem com probabilidade aproximadamente igual a 1. A transição entre níveis ocorre quando a probabilidade de um certo nível apresentar valores inferiores a 0.5. Desta forma, os anos em que ocorrem transições nos dois modelos estão descritos no Quadro 4.22.

Quadro 4.22 - Idade máxima para cada nível de degradação (Multinomial Logística vs. Logística Ordinal)

Nível	Multinomial Logística	Logística Ordinal
1	12	12
2	22	22
3	32	34

Comparando os valores do quadro, conclui-se que os mesmos são muito idênticos, variando ligeiramente apenas no nível 3. Desta forma, e atendendo aos motivos apresentados anteriormente relacionados com o teste de linhas paralelas, serão considerados apenas os resultados obtidos na regressão multinomial logística.

4.6 Análise comparativa entre modelos

Através de uma análise comparativa, pretende-se detetar possíveis variações nas previsões dos modelos e perceber se existem modelos que se aproximam mais entre si, ou se todos eles divergem. No Quadro 4.23 apresentam-se os resultados das idades máximas em cada nível, determinadas para os três modelos.

Os valores atribuídos às idades máximas no modelo da curva de Herz correspondem ao instante em que a probabilidade de uma fachada se encontrar num determinado nível é inferior a 50%. Na matriz de transição, os valores apresentados correspondem ao instante em que um determinado nível deixa de ter uma probabilidade igual ou superior a 50% e para a regressão multinomial logística utilizaram-se os valores correspondentes ao Quadro 4.22.

Quadro 4.23 - Comparação de transição entre níveis de metade da amostra (Curva de Herz vs. Matriz de Transição)

Nível	Curva de Herz	Matriz de Transição	R. Multinomial Logística
1	13	8	12
2	22	27	22
3	38	-	32

Tal como verificado anteriormente, é possível perceber que a matriz de transição apresenta resultados mais dispersos que a curva de Herz e a regressão multinomial logística, transitando mais cedo do nível 1 para o nível 2 (8 anos) e mais tarde do nível 2 para o nível 3 (27 anos). Tal pode-se dever ao facto de na matriz de transição haver sempre uma percentagem residual que nunca transita de nível, resultado do funcionamento deste modelo, em que a probabilidade de um estado depende apenas de si próprio e não das probabilidades dos restantes estados. A título de exemplo, nos resultados obtidos

para a matriz de transição verifica-se que ao fim de 36 anos ainda existe uma percentagem de 3% de edifícios que permanecem no nível 1. Esta dispersão de resultados, juntamente com o reduzido número de fachadas no nível 4 de degradação faz com que a análise dos 50% de edifícios a transitar para o nível 4 se torne inconclusiva neste modelo.

É ainda possível verificar que existe uma convergência de valores entre os resultados das curvas de Herz e os resultados da regressão multinomial logística. Os resultados destes modelos divergem apenas na transição do nível 3 para o nível 4, o que pode ser explicado pelo número reduzido de fachadas de nível 4 na amostra.

4.7 Análise financeira

Tendo em conta os tipos de intervenção em análise neste estudo, optou-se por considerar a categoria *F05 – Reabilitação Ligeira de Edifícios* para a determinação dos índices e coeficientes de cálculo a aplicar na fórmula polinomial de revisão de preços.

Nesta categoria, as sub-categorias a considerar no custo de materiais são:

- b03- Inertes
- b10 – Azulejos e Mosaicos
- b13 – Chapa de aço macio
- b20 – Cimento em saco
- b23 – Vidro
- b29 – Tinta de construção civil
- b42 – Tubagem de aço e aparelhos para canalizações.

Para além destas sub-categorias, devem ainda ser consideradas as categorias de Mão-de-Obra (a), Equipamentos (c) e diversos (d), como mencionado anteriormente no capítulo 3.2.4. Os valores a aplicar como coeficientes destas sub-categorias na fórmula de revisão de preços, para a categoria de reabilitações ligeiras de edifícios estão presentes no Quadro 4.24

Quadro 4.24 - Coeficientes a aplicar na fórmula de revisão de preços para uma categoria F05

F05 - Reabilitação Ligeira de Edifícios	
a	0,45
b03	0,01
b10	0,1
b13	0,01
b20	0,01
b23	0,01
b29	0,22
b42	0,02
c	0,07
d	0,1

Como mencionado anteriormente, a fórmula polinomial de revisão de preços foi utilizada para determinar o Ct para intervalos de 1 ano, sendo o primeiro ano 2000 e o último 2016, uma vez que são os dados mais recentes publicados para o mês de Dezembro, o mês utilizado como referência nestes cálculos.

No Anexo 2 é possível analisar a evolução dos diferentes índices utilizados nos cálculos da revisão de preço.

Os preços para as tintas de construção civil foram aqueles que verificaram uma maior variação desde 2000. Todos os outros preços comportaram-se de forma semelhante ao longo dos anos, notando-se uma pequena variação nos dois sentidos. No entanto, é possível verificar pequenos picos de variação para a chapa de aço macio e para o Vidro, em 2004 e 2007, respetivamente.

Uma vez determinados os valores dos índices de Dezembro para os diferentes anos e os valores dos coeficientes para as diversas sub-categorias de cálculo, determinaram-se os valores de Ct para cada ano, cujos valores se apresentam no gráfico em baixo.

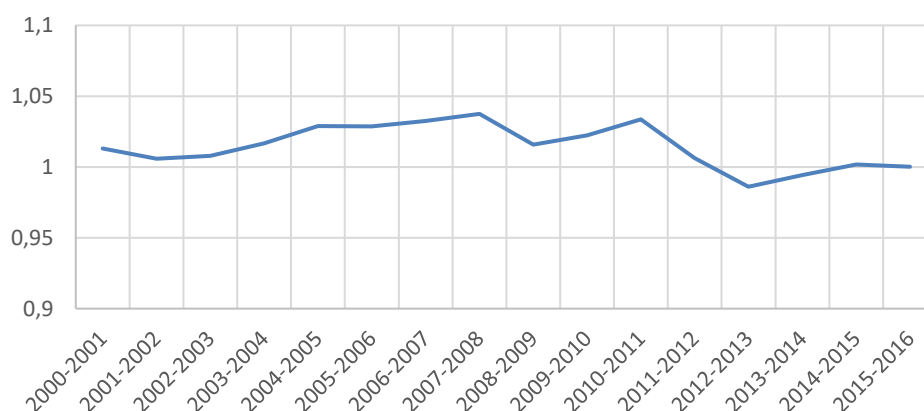


Figura 4.8 - Evolução do valor de Ct anual

A média determinada destes valores é de 1.0145. É este o valor que será utilizado para prever os custos futuros da intervenção, nos anos previstos para cada nível de degradação.

Uma vez conhecido o custo de intervenção em cada nível de degradação, presente no Quadro 3.1, aos quais acrescem 4,17€ e 2.77€ para montagem e desmontagem de andaime, respetivamente, e ainda considerando 10% do valor total para custos de estaleiro, obtém-se os seguintes valores.

Quadro 4.25 - Custo de intervenção em cada nível de degradação

Nível	Custo em 2017 (€/m ²)
1	21,6
2	27,16
3	29,93
4	38,27

Neste estudo financeiro serão abordados dois cenários distintos. O primeiro cenário consiste em considerar os valores máximos de transição obtidos com recurso aos diferentes modelos analisados (curvas de Herz, matriz de transição e regressão multinomial logística). O segundo utiliza valores médios entre níveis para o cálculo dos indicadores financeiros.

A média dos diferentes Ct anuais serve de taxa para a progressão geométrica que permite determinar os custos futuros para cada nível de degradação, considerando que a mesma é feita passados os anos considerados como idade de referência.

São estes custos futuros que servem de base para a análise financeira, que consiste na determinação do CAL, atualizando os valores para o ano de 2017 e o CAE, que permitirá comparar custos com longevidades variadas. O valor utilizado na taxa de atualização resulta de uma ponderação de três parcelas, a inflação, o rendimento e o risco. Para a parcela da inflação, calculou-se uma média da inflação anual desde 2000, obtendo-se o valor de 2,03%. Para o rendimento e para o risco, considerou-se uma percentagem que englobasse as duas parcelas, optando-se pelo valor de 4% para as mesmas. O cálculo da ponderação seguiu a equação 18 apresentada anteriormente, no capítulo 3.2.4, resultando numa taxa de atualização de 6%.

A determinação do CAL e do CAE para cada um dos níveis de degradação seguiu as equações 19 e 20 apresentadas igualmente no capítulo 4.4. A fórmula 19 refere-se ao VAL, mas uma vez que só estão a ser considerados custos, a mesma fórmula dá origem ao CAL. Os valores obtidos para cada um dos cenários serão apresentados nos sub-capítulos seguintes.

4.7.1 Cenário 1 – Valores máximos de transição entre níveis

Na análise a este primeiro cenário são utilizadas as idades determinadas no capítulo 4.6. Uma vez que a matriz de transição determina idades máximas apenas para o nível 1 e nível 2, considerou-se 40 anos como idade máxima para o nível 3 e 45 anos como idade máxima do nível 4 para todos os modelos. Destas considerações resulta o Quadro 4.26, como se demonstra em baixo.

Quadro 4.26 - Idades máximas nos diferentes modelos

Nível	Curvas de Herz	Matriz de Transição	R. Multinomial Logística
1	13	8	12
2	22	27	22
3	38	40	32
4	45	45	45

Estas idades servem de base aos cálculos do CAL e do CAE para cada nível de degradação e para cada um dos modelos. No Quadro 4.27 apresentam-se os resultados obtidos.

Na Figura 4.9 e Figura 4.10 apresentam-se os resultados do CAL e do CAE para cada modelo estatístico.

Quadro 4.27 - Valores de CAL e CAE (Cenário 1)

Curvas de Herz					
Nível	Idade	Custo em 2017 (€/m ²)	Custo Futuro (€/m ²)	CAL (€/m ²)	CAE (€/m ²)
1	13	21,60	26,04	12,21	1,38
2	22	27,16	37,25	10,34	0,86
3	38	29,93	51,68	5,65	0,38
4	45	38,27	73,06	5,31	0,34
Matriz de Transição					
Nível	Idade	Custo em 2017 (€/m ²)	Custo Futuro (€/m ²)	CAL (€/m ²)	CAE (€/m ²)
1	8	21,60	24,23	15,20	2,45
2	27	27,16	40,03	8,30	0,63
3	40	29,93	53,19	5,17	0,34
4	45	38,27	73,06	5,31	0,34
Regressão Multinomial Logística					
Nível	Idade	Custo em 2017 (€/m ²)	Custo Futuro (€/m ²)	CAL (€/m ²)	CAE (€/m ²)
1	12	21,60	25,67	12,76	1,52
2	22	27,16	37,25	10,34	0,86
3	32	29,93	47,41	7,35	0,52
4	45	38,27	73,06	5,31	0,34

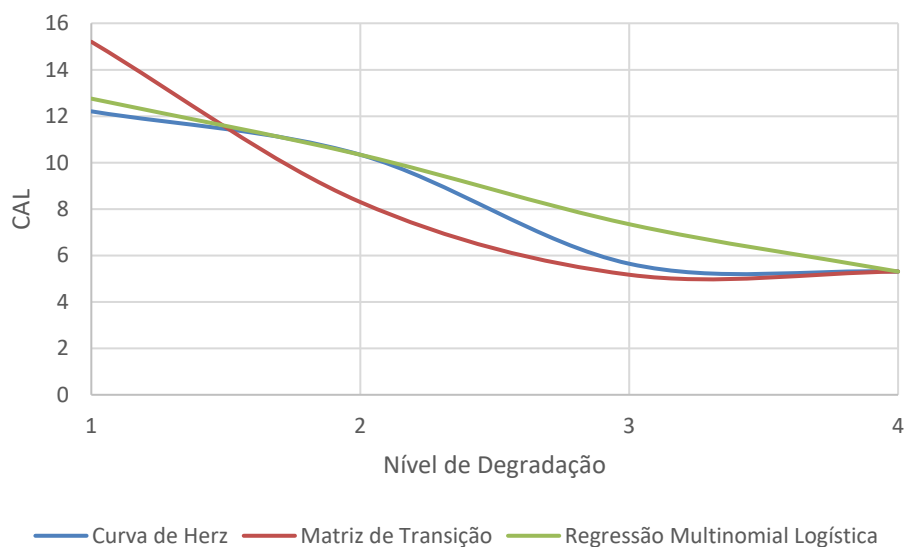


Figura 4.9 - CAL (Cenário 1)

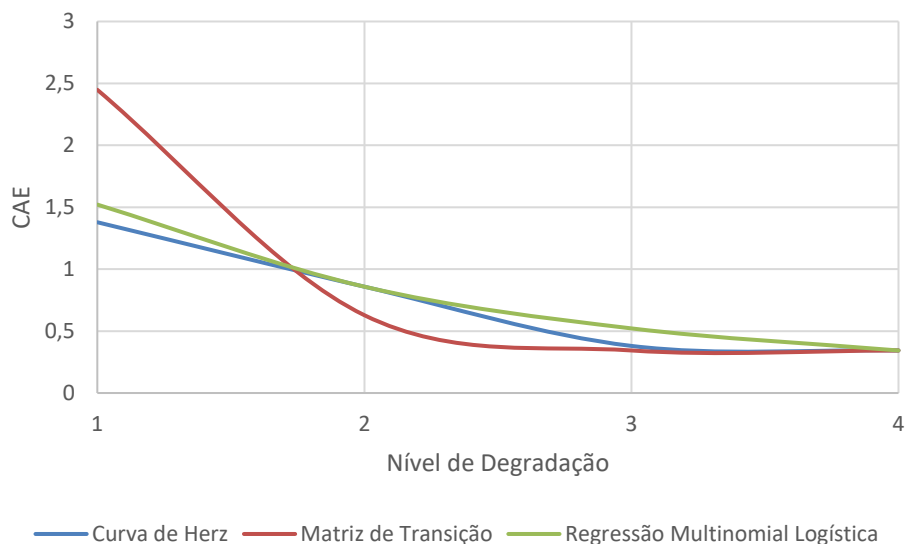


Figura 4.10 - CAE (Cenário 1)

Analisando a Figura 4.9, referente ao CAL, verifica-se uma tendência decrescente no custo por metro quadrado de uma intervenção na fachada. É possível notar igualmente que no nível 2 existe um modelo que se destaca pela positiva, apresentando um custo por metro quadrado bastante inferior aos restantes – matriz de transição – e no nível 3 verifica-se que a regressão multinomial logística é aquela que se destaca pela negativa, apresentando um custo por metro quadrado superior aos restantes.

Na análise à Figura 4.10 verifica-se uma variação bastante acentuada, nos primeiros níveis de degradação, para a matriz de transição, e um equilíbrio relevante entre os modelos de Herz e regressão multinomial logística. Apesar de no nível 2 a matriz de transição apresentar custos anuais menores, a partir do terceiro nível existe uma aproximação considerável entre os três modelos, havendo mesmo sobreposição entre o modelo das curvas de Herz e as matrizes de transição. Havendo uma indefinição acerca do momento em que se pretende realizar uma intervenção na fachada, podendo a mesma ser realizada nos estados iniciais de degradação, o modelo das curvas de Herz é aquele que se apresenta como mais favorável, por apresentar resultados mais estáveis ao longo dos anos. No entanto, se se atender ao facto de o custo ser sempre menor para estados de degradação mais acentuados, e se se pretender apenas escolher o momento ideal para intervir numa fachada que já se encontre nesses estados avançados, a variabilidade inicial do custo anual da matriz de transição adquire uma importância reduzida e este modelo torna-se o mais estável e mais apropriado do ponto de vista financeiro.

4.7.2 Cenário 2 – Valores médios entre transições

O segundo cenário a ser analisado pretende avaliar a opção de reabilitar num período entre estados de degradação, ou seja, num período onde não é expectável que o edifício transite de nível de degradação.

Para a obtenção dos anos que devem ser considerados nesta análise, calculou-se a média entre a idade em que um edifício transita para aquele nível e a idade em que esse mesmo edifício transita para

o nível seguinte em cada um dos modelos desenvolvidos anteriormente. Desta forma, determinaram-se os valores presentes no Quadro 4.28.

Quadro 4.28 - Idades médias nos diferentes modelos

Nível	Curvas de Herz	Matriz de Transição	R. Multinomial Logística
1	7	4	6
2	18	18	17
3	30	34	27
4	42	43	39

Com estes valores determinam-se o CAL e o CAE em cada um dos modelos, tal como realizado para o cenário 1. Os resultados destes cálculos encontram-se apresentados no Quadro 4.29 e expressos graficamente na Figura 4.11 e Figura 4.12.

Quadro 4.29 - Valores de CAL e CAE (Cenário 2)

Curva de Herz					
Nível	Idade	Custo em 2017 (€/m ²)	Custo Futuro (€/m ²)	CAL (€/m ²)	CAE (€/m ²)
1	7	21,60	23,89	15,89	2,85
2	18	27,16	35,17	12,32	1,14
3	30	29,93	46,07	8,02	0,58
4	42	38,27	69,98	6,06	0,40
Matriz de Transição					
Nível	Idade	Custo em 2017 (€/m ²)	Custo Futuro (€/m ²)	CAL (€/m ²)	CAE (€/m ²)
1	4	21,60	22,88	18,12	5,23
2	18	27,16	35,17	12,32	1,14
3	34	29,93	48,80	6,73	0,47
4	43	38,27	70,99	5,80	0,38
Regressão Multinomial Logística					
Nível	Idade	Custo em 2017 (€/m ²)	Custo Futuro (€/m ²)	CAL (€/m ²)	CAE (€/m ²)
1	6	21,60	23,55	16,60	3,38
2	17	27,16	34,67	12,88	1,23
3	27	29,93	44,13	9,15	0,69
4	39	38,27	67,03	6,91	0,46

A análise da Figura 4.11 referente ao CAL permite perceber que nos três modelos existe um comportamento semelhante, havendo apenas uma ligeira variação no nível 3. Neste nível, a matriz de transição é o modelo que apresenta um custo por metro quadrado menor (6,73€/m²), e a regressão multinomial logística aquele que apresenta um custo mais acentuado (9,15€/m²). Verifica-se ainda que o custo líquido de intervenção vai diminuindo ao longo da evolução do estado de degradação das fachadas.

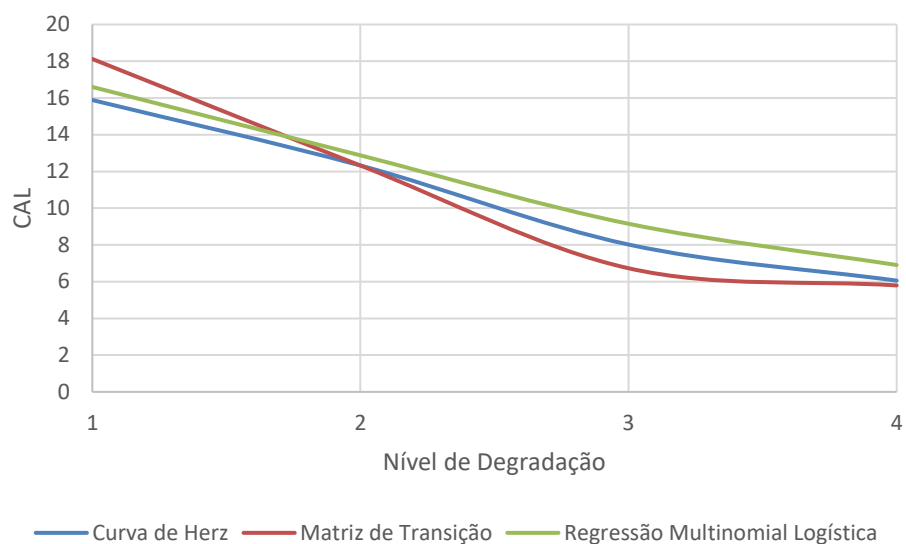


Figura 4.11 - CAL (Cenário 2)

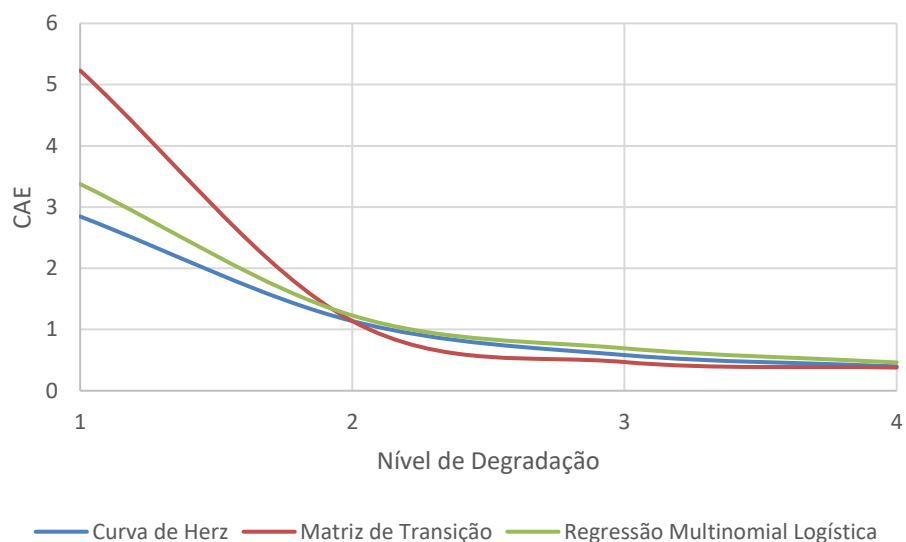


Figura 4.12 - CAE (Cenário 2)

Analisando os dados referentes ao custo anual equivalente, verifica-se que apenas no nível 1 existe uma diferença acentuada entre os custos anuais de realizar uma reabilitação de uma fachada. A partir do nível 2, estes valores não só se aproximam consideravelmente nos três modelos, como registam uma taxa de variação muito reduzida, havendo apenas uma variação de alguns centimos por metro quadrado entre a intervenção no nível 3 ou no nível 4.

Neste cenário verifica-se que, apesar de haver um momento em que o custo anual é menor na matriz de transição, a pouca variabilidade entre modelos a partir do nível 2 torna o modelo das curvas de Herz o mais favorável, uma vez que é aquele que apresenta menores custos na única fase em que os modelos variam mais entre si.

4.7.3 Matriz de transição (Cenário 1) vs. Curva de Herz (Cenário 2)

A tendência decrescente do custo de intervenção (€/m^2) em todos os modelos conduz a uma preferência por intervenções em momentos de degradação mais avançados, concluindo-se que é preferível deixar degradar durante mais tempo e fazer intervenções mais dispendiosas do que fazer intervenções ligeiras em períodos de tempo mais reduzidos.

Desta forma, no cenário 1 a matriz de transição apresenta-se como o modelo mais favorável, e no cenário 2 o modelo das curvas de Herz é aquele que apresenta custos mais reduzidos.

Assim, deve ser feita uma comparação entre os modelos mais favoráveis de cada cenário de modo a perceber qual dos cenários apresenta custos menores – se o cenário 1, onde o momento escolhido para a intervenção é o momento anterior à transição de nível; se o cenário 2, onde o momento escolhido para a intervenção se situa a meio do intervalo temporal correspondente a cada nível. Na Figura 4.13 e Figura 4.14 apresentam-se representações gráficas destes modelos em cada um dos cenários.

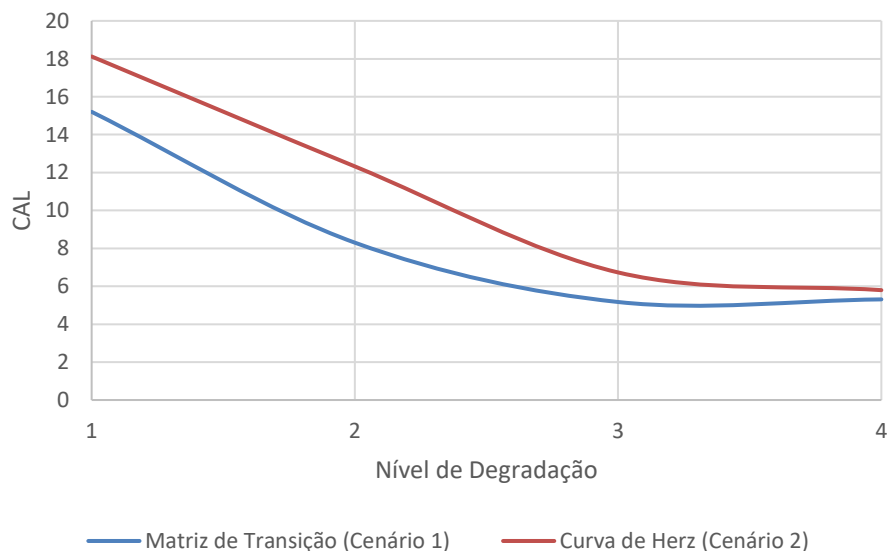


Figura 4.13 - Comparação entre CAL de modelos mais favoráveis

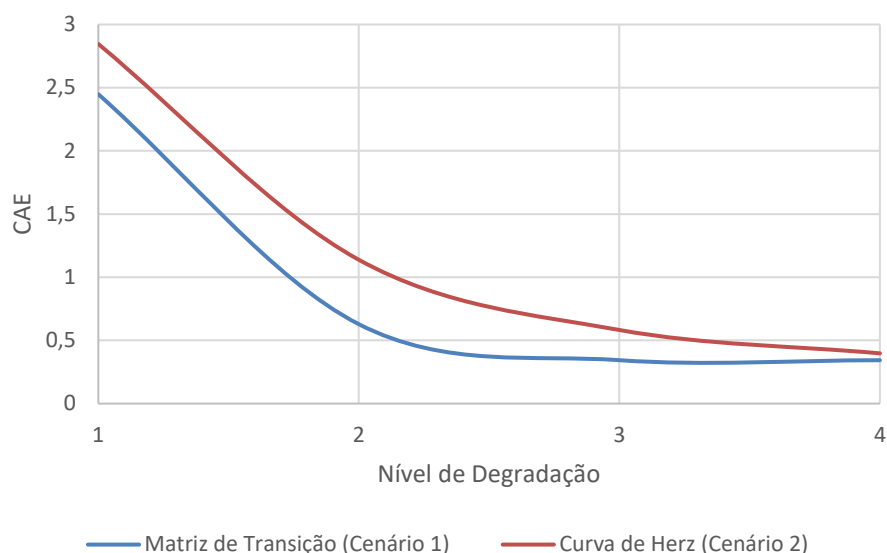


Figura 4.14 - Comparação entre CAE de modelos mais favoráveis

A análise destes gráficos permite verificar que a diferença entre custos em cada um dos cenários vai diminuindo ao longo do tempo, de onde se conclui que a influência da escolha do momento da intervenção é menos relevante em estados mais avançados de degradação. É possível ainda verificar que o cenário 1 apresenta sempre custos menores do que o cenário 2. Uma vez que o cenário 1 corresponde sempre a idades superiores ao cenário 2 para o mesmo nível de degradação, esta verificação coincide com a conclusão retirada anteriormente de que os custos apresentam uma tendência decrescente ao longo do tempo.

Tendo em conta que se verifica uma ligeira estabilização das curvas dos cálculos do CAE a partir do nível 3, considera-se que, conjugando o ponto de vista estético com os critérios financeiros subjacentes a esta análise, o nível 3 é aquele que se apresenta como o mais favorável para realizar uma intervenção. Deixar degradar durante mais tempo traduz-se numa ligeira diminuição do custo anual de intervenção, mas numa considerável deterioração arquitetónica e funcional do edifício.

5 Conclusões

O estudo desenvolvido na presente dissertação tinha como principal objetivo contribuir para a análise do custo do ciclo de vida de edifícios na fase de utilização, nomeadamente na definição dos momentos mais indicados para realizar intervenções ao nível da fachada, do ponto de vista técnico e económico.

Para apoiar nessa decisão, foi proposta uma metodologia de análise de fachadas baseada na definição de níveis de degradação e na determinação dos custos de intervenção associados aos mesmos. Estes elementos foram apoiados por uma recolha de informação sobre os edifícios que se pretendiam analisar, nomeadamente o histórico de intervenções a que os mesmos foram sujeitos.

Estes dados foram analisados estatisticamente, de forma a determinar-se o número de anos, em média, necessários para que as fachadas em análise atingissem cada um dos níveis de degradação. Com esta análise efetuada e com o custo por metro quadrado de intervenção associado a cada nível de degradação, foi possível determinar se é mais benéfico intervir numa fachada com níveis de degradação baixos e custos reduzidos ou prolongar o tempo de degradação e fazer intervenções mais dispendiosas.

No entanto, importa salientar a amostra reduzida de edifícios no nível 4 de degradação, de onde se pode concluir que são poucos os edifícios que atingem esse estado de degradação. Este facto poderá estar relacionado com o carácter subjetivo dos argumentos que sustentam uma intervenção na fachada. Estas decisões baseiam-se, na maioria das vezes, em critérios relacionados com a estética das fachadas e não em questões económicas ou técnicas.

Existem também situações em que a decisão de intervenção pode estar relacionada com situações de perda de funcionalidade, quer por defeito de construção, como a existência de infiltrações, quer por questões de valorização financeira.

Depois de realizada uma análise estatística aos dados recolhidos, fez-se uma análise financeira que teve por base dois cenários distintos. O primeiro cenário considera que a intervenção é realizada no momento anterior à transição para o estado seguinte, enquanto que no segundo cenário esta intervenção acontece num momento entre transições, onde é pouco provável que o edifício transite de nível de degradação num futuro próximo.

Neste estudo pretendeu-se analisar um grupo de edifícios com características semelhantes e números de anos de construção idênticos. Este critério de seleção permite reduzir a incerteza associada à possível influência dos materiais de construção na degradação das fachadas, uma vez que, admitindo pequenas diferenças nos materiais utilizados, essa não deverá ser significativa dada a época de construção idêntica e à mesma localização geográfica.

Os resultados obtidos nas diferentes análises estatísticas realizadas, nomeadamente nas curvas de Herz, na matriz de transição e na regressão multinomial logística são bastante aproximados em relação aos períodos de transição entre níveis de degradação e em relação ao número de anos médio de uma fachada em cada nível de degradação.

No que concerne aos resultados obtidos na análise financeira, demonstrou-se que o custo anual equivalente de uma intervenção diminui sempre na proporção inversa do número de anos em que o edifício se encontra a degradar. No cenário 1 considerou-se que o modelo que apresentava valores de custos mais aceitáveis era a matriz de transição e que no cenário 2 esses custos mais benéficos eram assegurados pelas curvas de Herz. Após comparar os modelos mais vantajosos nos dois cenários, e atendendo a uma ligeira estabilização das curvas associadas ao cálculo do CAE a partir do terceiro nível de degradação, considerou-se que os edifícios no nível 3 se encontravam no melhor momento para serem alvo de uma intervenção. Esta conclusão teve por base não apenas critérios financeiros, mas também critérios estéticos e funcionais.

Alguns trabalhos anteriores que visam esta temática procuraram avaliar a degradação de fachadas rebocadas e pintadas com base numa amostra heterogénea. A abordagem desenvolvida na presente dissertação pretendeu contribuir para o estudo da degradação de fachadas através de uma amostra mais reduzida, mas constituída por edifícios com anos de construção semelhantes, com a mesma arquitetura e usos idênticos.

Com esta abordagem mais seletiva pretende-se analisar de que forma a heterogeneidade de fachadas influencia as degradações estimadas nos diferentes estudos realizados anteriormente. No futuro, e como continuação do trabalho desenvolvido nesta dissertação, devem ser estudados edifícios situados noutros locais e com outras idades de construção, mantendo sempre o carácter homogéneo da amostra. Desta forma, e depois de analisados diversos grupos heterogéneos compostos por edifícios homogéneos, será possível aferir a possível influência da heterogeneidade de fachadas.

Referências Bibliográficas

- Aarseth, L.-I., & Hovde, P. (1999). A stochastic approach to the factor method for estimating service life. *8th International Conference on Durability of Building Materials and Components*.
- Abraham, D., & Wirahadikusumah, R. (1999). Development of prediction models for sewer deterioration. *Proceeding of the International Conference on Durability of Building Material and Components*, pp. 1257-1267.
- Aikivuori, A. (1999). Critical loss of performance - What fails before durability. *8th International Conference on Durability of Building Material and Components (DBMC)*, pp. 1369-1376. Vancouver, Canadá.
- Ana, E. (2009). Sewer Asset Management - Sewer Structural Deterioration Modeling and Multicriteria Decision Making in Sewer Rehabilitation Projects Prioritization. *PhD Thesis Faculty of Engineering, Vrije Universiteit Brussel*.
- Architectural Institute of Japan (AIJ). (1993). The English edition of principal guide for service life planning of buildings. Japão: AIJ.
- Balaras, A., Droutsas, K., Dascalaki, E., & Kontoyiannidis, S. (2005). Deterioration of European apartment buildings. *Energy and Buildings*, 37(5), pp. 515-527.
- Baur, R., & Herz, R. (s.d.). *Selective inspection planning with aging forecast for sewer types*. Technische Universität Dresden.
- Bourke, K., & Davies, H. (1997). Factors affecting service life predictions of buildings: a discussion paper. *Laboratory Report. Building Research Establishment*.
- Brand, S. (1994). *How buildings learn. What happens after they are built?* Reino Unido: Viking.
- British Standards Institution (BSI). (1992). BS 7543 Guide to durability of buildings and buildings elements, products and components. Londres, UK: BSI.
- Brundtland, G. (1987). *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*. Oxford: Oxford University Press.
- Cecconi, F. (2002). Performance lead the way to service life prediction. *9 DBMC International Conference on durability of buildings materials and components*.
- Chew, M., & de Silva, N. (2004). Factorial method for performance assessment of building facades. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130 (4), pp. 525-533.

- Chew, M., de Silva, N., Tan, P., & Das, S. (2006). Grading of risk parameters for facade maintainability. *International Journal on Architectural Science*, 7 (3), pp. 77-87.
- Costa, J., Paulo, P., Branco, F., & de Brito, J. (2012). Modeling the evolution of stains in old building facades caused by collection of dirt. *Journal of Performance of Constructed Facilities*.
- da Costa, J. (2011). Modelos de Degradação de Edifícios - Influência de factores de degradação no aparecimentos de manchas de humidade. *Tese de Mestrado em Engenharia Militar, IST / Academia Militar*.
- de Brito, J. (2001). *Vida útil das construções e sua previsão - Patologia e Reabilitação da Construção*. Instituto Superior Técnico.
- Dias, J., Silva, A., Chai, C., Gaspar, P., & de Brito, J. (2014). Neural networks applied to service life prediction of exterior painted surfaces. *Building Research & Information*, 42 (3), pp. 371-380.
- Dias, L. A. (Fevereiro de 2013). *Organização e Gestão de Obras*. (IST, Ed.)
- Flores-Colen, I., & de Brito, J. (2010). A systematic approach to maintenance budgeting of building facades based on predictive and preventive strategies. *Construction and Building Materials*, 24 (9), pp.1718-1729.
- Flores-Colen, I., de Brito, J., & Freitas, V. (2010). Discussion of criteria for prioritization of predictive maintenance of building facades - Survey of 30 experts. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 24 (4), pp. 337-344.
- Folorunso, C., & Ahmad, M. (2013). Performance and resistance of paint used as exterior finish in salt laden environment. *Structural Survey*, 31 (3), pp. 214-224.
- Fonseca, M. (2010). *Regras de Medição na Construção*. LNEC.
- Garrido, M. (2010). Previsão da vida útil de pinturas de fachadas de edifícios antigos - Metodologia baseada na inspeção de edifícios em serviço. *Tese de Mestrado em Engenharia Civil - Instituto Superior Técnico (IST)*.
- Garrido, M., Paulo, P., & Branco, F. (2010). Análise da influência da espessura da película na evolução do destacamento de tinta em fachadas de edifícios antigos. *Encontro Nacional de Conservação e Reabilitação de Estruturas - Reabilitar 2010*.
- Garrido, M., Paulo, P., & Branco, F. (2012). Service life prediction of facade paint coatings in old buildings. *Construction and Building Materials*, 29, pp. 394-402.
- Gaspar, P., & de Brito, J. (2008). Service life estimation of cement-rendered facades. *Building Research & Information*, 36 (1), pp. 44-55.

- Haagenrud, S. (2004). Part II - factors causing degradation, Guide and bibliography to service life and durability research for buildings and components. *Joint CIB W80/RILEM TC 140 - Prediction of Service Life of Building Materials and Components*, pp. 2.1 - 2.105.
- Hovde, P. (1998). Evaluation of the factor method to estimate the service life of building components. *CIB World Building Congress*.
- Hovde, P. (17-21 Março de 2002). The Factor Method for Service Life Prediction from Theoretical Evaluation to Practical Implementation. *9th International Conference on Durability of Building Material and Components (DBMC)*, paper 232.
- Hovde, P. (2004). *State of the Art Reports - Part A: Factor Methods for service life prediction*. CIB W080/RILEM 175-SLM Service Life Methodologies - Prediction of Service Life for Buildings and Components. CIB Report: Publication 294.
- Instituto Nacional de Estatística, I.P. (2012). *Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P.
- ISO. (2011). 15686-1:2011 Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General Principles. Genebra, Suíça: International Organization for Standardization.
- ISO. (2012). 15686-2:2012 Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 2: Service life prediction procedures. Genebra, Suíça: International Organization for Standardization.
- Jernberg, P., Sjöström, C., Lacasse, M., Brandt, E., & Siemes, T. (2004). Guide and Bibliography to service life and durability research for buildings and components. *Joint CIB W080/RILEM TC 140*.
- Kirkham, R., & Boussabaine, H. (2005). Forecasting the residual service life of NHS hospital buildings: a stochastic approach. *Construction Management and Economics*, 23 (5), pp. 521-529.
- Lawson, W. (1992). Capital energy costs of building and recycling of building materials. *Proceedings of Construction Beyond 2000*.
- Leiria, B., Lindgard, J., Nesje, A., Sund, E., & Saegrov, S. (1999). Degradation analysis by statistical methods. *8th International Conference on Durability of Building materials and Components*, pp. 1436-1446.
- Levin, H. (1997). Systematic evaluation and assessment of building environmental performance (ASEABEP). *Proceedings Second International Conference on Buildings and the Environment, CSTB annd CIB.*, 2. Paris.
- Long, A., Henderson, G., & Montgomery, F. (2001). Why assess the properties of near-surface concrete? *Construction and Building Materials*, 15 (2-3), pp. 65-79.

- Magos, M., de Brito, J., Gaspar, P., & Silva, A. (2016). Application of the factor method to the prediction of the service life of external paint finishes on facades. *Materials and Structures*.
- Martin, J., Saunders, S., Floyd, F., & Wineburg, J. (1996). Methodologies for Predicting the Service Lives of Coating Systems. (D. Dr. Brezinski, & T. Dr. Miranda, Edits.)
- Masters, L., & Brandt, E. (1987). Prediction of service life of building materials and components. *RILEM Technical Committee, CIB W80/RILEM71-PSL Final Report, Mater Struct, 20*, pp. 55-77.
- Masters, L., & Brandt, E. (1989). Systematic methodology for service life prediction of building materials and components. *RILEM recommendations, CIB W80/RILEM 71-PSL TC, Mater Struct, 22*, pp. 385-392.
- Mehle, J., O'Keefe, S., & Wrase, P. (2001). An Examination of Methods for Condition Rating of Sewer Pipelines. *Center for Development of Technical Leadership*.
- Mejri, M., Cazaguel, M., & Cognard, J. (2011). A time variant reliability approach for ageing marine structures with non-linear behavior. *Computers and Structures, 89(19-20)*, pp. 1743-1753.
- Moser, K. (1999). Towards the practical evaluation of service life - illustrative application of the probabilistic approach. *8th International Conference on Durability of Building Materials and Components*.
- Moser, K. (2004). *State of the Art Reports - Part B: Engineering Design Methods for service life prediction*. CIB W080/RILEM 175-SLM Service Life Methodologies - Prediction of Service Life for Buildings and Components. CIB Report: Publication 294.
- Motawa, I., & Almarshad, A. (2013). A knowledge-based BIM system for building maintenance. *Automation in Construction, 29*, pp. 173-182.
- Paulo, P. (2009). A Building Management System (BuildingsLife): Application of deterministic and stochastic models with genetic algorithms to building facades. *Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Instituto Superior Técnico (IST)*.
- Pearce, D. (2003). *The social and economic value of construction - The construction industry's contribution to Sustainable Development*. London, UK: nCRISP.
- Rudbeck, C. (1999). Methods for designing building envelope components prepared for repair and maintenance. *Tese de Doutorado - Department of Buildings and Energy, Technical University of Denmark*.
- Santos, M. (2010). Metodologias de previsão da vida útil de materiais, sistemas ou componentes da construção. Revisão Bibliográfica. *Tese de Mestrado em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)*.

- Silva, A., de Brito, J., & Gaspar, P. (2012). Application of the factor method to maintenance decision support for stone cladding. *Automation in Construction*, 22 (3), pp. 165-174.
- Silva, A., Dias, J., Gaspar, P., & de Brito, J. (2012). Statistical models applied to service life prediction of rendered facades. *Automation in Construction*, 30, pp. 151-160.
- Silva, A., Gaspar, P., & de Brito, J. (2014). Durability of current renderings: A probabilistic analysis. *Automation in Construction* 44, pp. 92-102.
- Sjöström, C., & Brandt, E. (1991). Collection of in-service performance data: state-of-the-art and approach by CIB W80/RILEM 100-TSL. *RILEM technical committees, prediction techniques of service life, CIB W80/RILEM 100-TSL, Mater Struct*, 24, pp. 70-76.
- Sousa, V., Matos, J., & Matias, N. (2014). Evaluation of artificial intelligence tool performance and uncertainty for predicting sewer structural condition. *Automation in Construction*, 44, pp. 84-91.
- Spence, R., & Mulligan, H. (1995). *Sustainable development and the construction industry*, 19 (3). Habitat International.
- Strand, S., & Hovde, P. (1999). Use of Service Life data in LCA of building materials. *Durability of Building Materials and Components 8 - Institute for Research in Construction*, pp. 1948-1958.
- Talon, A., Boissier, D., Chevalier, J.-L., & Hans, J. (2005). Temporal quantification method of degradation scenarios based on FMEA. *10th International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Lyon, France.
- Tran, H. (2007). Investigation of Deterioration Models for Stormwater Pipe Systems. *PhD Thesis Victoria University, School of Architectural, Civil and Mechanical Engineering Faculty of Health, Engineering and Science*.
- Uher, T., & Lawson, W. (1998). Sustainable development in construction. *Faculty of the Built Environment, UNSW*.
- Wyatt, D. (Novembro de 1994). Recycling and serviceability: the twin approach to securing sustainable construction. *Proceedings First International Conference of CIB TGI 6 on Sustainable Construction*, pp. 69-78.

Anexo 1

Anos de intervenção nas fachadas

Rua	Número	Ano de Construção	Intervenções (Anos)				Orientação Solar
Rua Luis Augusto Palmeirim	12	1948	1961	1980	1992		S
	14	1948	1960	1978	1994	2006	S
	16	1948	1964	1983	1995		S
	8	1948	1971	1994	2007		S
	6	1948	1958	1968	1990	2017	S
	4	1948	1967	1996	2008		S
	2	1948	1962	1982			S
	1	1948	1960	1978	1991		N,E
	10	1949	1958	1968	1991		S
Rua Marquesa Alorna	31	1955	1971	1996	2017		N,E
	29	1948	1968	1992	2013		E
	27	1948	1966	1988	2012		E
	25	1948	1973	2001			E
	23	1948	1959	1970	1995		E
	21	1948	1957	1965	1991		E
	30	1948	1959	1974	1995		W
	26	1948	1957	1974	1993		W
	24	1948	1958	1997			W
	22	1948	1965	1984	1997		W
Rua Acácio de Paiva	14	1948	1966	1996			N,W
	12	1948	1963	1992	2005		W
	10	1948	1967	1993			W
	8	1948	1969	1987	2003		W
	6	1948	1967	1991			W
	4	1948	1966	1989			W
	13	1948	1965	1979	2003		N,E
	11	1948	1968	1985			E
	9	1948	1965	1981	1996		E
	7	1948	1967	1988			E
	5	1948	1959	1978	1996		E
	3	1948	1955	1968	2010		E
Rua José Duro	29	1948	1964	1982			E
	27	1949	1960	1984	2008		E
	23	1949	1965				E
	21	1949	1974	2017			E
	26	1948	1965	1995	2011		N
	22	1948	1957	1972			W

Rua	Número	Ano de Construção	Intervenções (Anos)				Orientação Solar
Rua José d'Esaguy	3	1948	1969	1995			E
	4	1948	1962				W
	5	1948	1961	1971	2006		E
	6	1949	1961	1982	2008		W
	7	1948	1971	1993	2002		E
	8	1948	1969	1980	1997		W
	9	1948	1961	1970	1993	2009	E
	10	1948	1958	1968	1990	2012	W
	11	1948	1965	1983	2005		E
	12	1948	1957	1971	1993		W
	13	1948	1979	1997			N,E
	14	1949	1978	1995			N,W

Anexo 2

Evolução temporal dos Índices de mão de obra, materiais e equipamentos (2000-2016)

