

SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE EDIFÍCIOS EM SERVIÇO

Aplicação do Método SIMULA[®]

RUI MIGUEL DIAS DA SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Rui Manuel Gonçalves Calejo Rodrigues

JULHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

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

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

Aos meus Pais, Família e Amigos

Liderar não é tanto uma questão de mão pesada mas mais de assento firme.

José Ortega y Gasset

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que me acompanharam ao longo deste percurso e que sempre demonstraram uma grande confiança no meu trabalho, em particular:

-Ao meu orientador, Professor Rui Calejo, pela sua forma metodológica, rigorosa e contagiante de transmitir os conhecimentos.

-Aos meus pais, que sempre apoiaram as minhas decisões ao longo deste percurso e me proporcionaram a realização deste trabalho.

-Ao meu grupo de amigos, pela sua disponibilidade e amabilidade em todas as acções.

RESUMO

Nos dias correntes e a nível nacional a manutenção de edifícios ainda não é encarada como uma prioridade e como factor preponderante na conservação do património edificado, fazendo-se sentir uma evidente apatia relativamente ao comportamento das construções durante a sua fase de serviço. Assim sendo, neste trabalho procura-se retratar a importância das actividades de manutenção e a forma como estas podem influenciar na obtenção de um melhor nível comportamental por parte dos edifícios.

A manutenção não deve ser encarada como uma actividade vulgar, realizada por instinto. Quando se executam actividades deste género, tem de se estar consciente do que se faz, devendo mesmo seguir-se um Plano de Manutenção previamente definido.

O objectivo fundamental deste trabalho foca-se nas incertezas que podem estar inerentes às diversas operações de manutenção de edifícios e na forma como estas são capazes de influenciar o evoluir do seu comportamento ao longo do seu período de serviço. Tendo em conta que na grande generalidade dos casos, as operações de manutenção se desenvolvem de forma cíclica, é de todo preponderante ter em consideração que a cada ciclo podem estar associadas incertezas intrínsecas aos seus custos e durações. Será que estas incertezas associadas ao comportamento cíclico afectam a previsão deste?

É neste âmbito, baseado nas incertezas das operações de manutenção, que as simulações técnico-económicas se apresentam com um papel relevante perante as necessidades de prever o comportamento dos edifícios. Para melhor realização de tais simulações, recorreu-se na presente investigação ao software SIMULA, desenvolvido segundo a metodologia de Monte Carlo.

Sabendo que as simulações económicas realizadas pelo *Life Cycle Cost* se regem por valores determinísticos, isto é sem incerteza, torna-se preponderante a comparação dos seus resultados com os valores obtidos pelas metodologias que consideram nas suas simulações incertezas, caso do SIMULA. Neste trabalho, para realização de tais comparações recorreu-se a uma tese de mestrado elaborada por Inês Flores, de onde se recolheram dados de durações e custos de várias estratégias de manutenção. A estes dados recolhidos foram aplicadas incertezas de forma a possibilitar uma comparação dos custos finais num determinado ano horizonte.

Com base em simulações técnico-económicas conclui-se que o grau de incerteza apresenta um papel relevante na previsão do comportamento cíclico das operações de manutenção, onde as probabilidades associadas às incertezas se mostram decisivas.

Por último, propõe-se uma reprogramação do Software SIMULA. Pois este, tal como se encontra programado não considera alguns aspectos que se revelam importantes em determinadas simulações.

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção de Edifícios, Comportamento de Edifícios em Serviço, SIMULA, Operações de Manutenção, Custos de Intervenção.

ABSTRACT

Nowadays, and on a national level, the building maintenance keeps being faced neither as a priority nor as a strong factor in the conservation of developed heritage, revealing a clear apathy in what the conduct of constructions during its service phase is concerned. Thereby, this work will portray the significance of maintenance activities and the way they may influence the achievement of a better level of conduct of the constructions.

Maintenance must not be faced as an ordinary activity, carried out instinctively. When executing such activities, one must be aware of what is actually done, trying still to follow a previously set Maintenance Plan.

The main objective of this work is focused on the uncertainties inherent to the various building maintenance operations, and to the way they are capable of influencing the evolution of their conduct throughout their service period. As in the most part of the cases maintenance operations are developed in a cyclic way, it is quite preponderant to consider that every cycle may be associated to intrinsic uncertainties concerning its costs and durations. May these uncertainties associated to cyclic conduct affect its predictions?

It is in the context of the uncertainties on maintenance operations that technical-economic simulations play a very important role on the needs to predict building conducts. In order to achieve better simulations, the following investigation exploited as a resource the SIMULA software, developed according to Monte Carlo's methodology.

Knowing that economic simulations carried out by the *Life Cycle Cost* are controlled by deterministic values, i.e. without uncertainty, it becomes preponderant to make a comparison between their outcomes and the results obtained by the methodologies that consider uncertainties in their simulations, as it is the case of SIMULA. In order to accomplish such comparisons, it was used for this work a master's thesis by Inês Flores, from which data concerning durations and costs of various maintenance strategies were gathered. Uncertainties were applied to the collected data, in order to achieve a comparison of final costs on a set future year.

Based on technical-economic simulations, one can conclude that the level of uncertainty plays a very important role on the prediction of the cyclic conduct of maintenance operations, where the probabilities associated to the uncertainties are considered quite decisive.

Finally, a redesigning of the SIMULA software is proposed, as the referred software, taken in the way it is designed, fails to consider some very important aspects in certain simulations.

Keywords: Building Maintenance, Conduct of Building in Service, SIMULA, Maintenance Operations, Intervention Costs.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V

1.INTRODUÇÃO	1
---------------------------	----------

1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJECTIVO DA DISSERTAÇÃO	2
1.3. CONSCIENCIALIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO	3
1.3.1. NOTAS HISTÓRICAS	3
1.3.2. CONSCIÊNCIA SOCIAL	4
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	8

2.CONCEITOS E NOÇÕES DE MANUTENÇÃO	9
---	----------

2.1. INTRODUÇÃO	9
2.2. DEFINIÇÕES GERAIS NA MANUTENÇÃO.....	9
2.3. A MANUTENÇÃO COMO PARTE INTEGRANTE DE UM EMPREENDIMENTO.....	10
2.3.1. GENERALIDADES	10
2.3.2. FASES E INTERVENIENTES DA CONSTRUÇÃO.....	10
2.4. ENQUADRAMENTO GERAL DO EDIFÍCIO EM SERVIÇO	11
2.4.1. GENERALIDADES.....	11
2.4.2. REQUISITOS ESSENCIAIS.....	11
2.5. GESTÃO DE EDIFÍCIOS	12
2.5.1. GENERALIDADES	12
2.5.2. ACTIVIDADES DA GESTÃO DE EDIFÍCIOS	14
2.5.2.1. Actividade Técnica.....	14
2.5.2.2. Actividade Económica	16
2.5.2.3. Actividade Funcional	18
2.6. DESENVOLVIMENTO DO SECTOR DA MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS	18
2.6.1. ENQUADRAMENTO	18
2.6.2. TIPOS DE MANUTENÇÃO	20
2.6.2.1. Manutenção Preventiva	20

2.6.2.2. Manutenção Correctiva	22
2.6.3. OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO.....	22
2.7. ELEMENTOS FONTE DE MANUTENÇÃO	24
2.7.1. ENQUADRAMENTO	24
2.7.2. A VIDA ÚTIL DOS ELEMENTOS FONTE DE MANUTENÇÃO.....	25
2.8. MANUAIS DE SERVIÇO	27
2.8.1. MANUAL DE MANUTENÇÃO	27
2.8.2. MANUAL DE UTILIZAÇÃO	28
2.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS DE CAPÍTULO.....	29

3. MODELO DE SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO

3.1. INTRODUÇÃO	31
3.2. MODELAÇÃO DO COMPORTAMENTO	31
3.2.1. ENQUADRAMENTO	31
3.2.2. SIMULAÇÃO TÉCNICA.....	32
3.2.3. SIMULAÇÃO ECONÓMICA	32
3.2.4. O MÉTODO PROBABILÍSTICO.....	32
3.2.5. CONSTITUIÇÃO DO MODELO.....	32
3.3. BASES GERAIS DO MÉTODO DE CÁLCULO DO PROCESSO SIMULA	34
3.3.1. GENERALIDADES.....	34
3.3.2. MÉTODO DE MONTE CARLO	34
3.3.2.1. Fases da simulação Monte Carlo	35
3.3.2.2. Gerador de Números Aleatórios	36
3.3.2.3. Método de Monte Carlo Aplicado aos Edifícios	36
3.3.3. ALGORITMO DO SIMULA	37
3.3.3.1. Variáveis Principais do Programa	37
3.3.3.2. Funcionamento do Programa.....	39
3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DE CAPÍTULO.....	43

4. ANÁLISE DE DADOS BASE

4.1. INTRODUÇÃO	45
4.1.1. GENERALIDADES.....	45
4.2. ANÁLISE DE PARÂMETROS DO SIMULA.....	46
4.2.1. GENERALIDADES.....	46

4.2.2. VARIAÇÃO DO NÚMERO DE INTERVENÇÕES NOS ELEMENTOS AO LONGO DA VIDA ÚTIL.....	47
4.2.2.1. Considerando Periodicidade de 10 Anos de Operação de Manutenção.....	47
4.2.2.2. Considerando Periodicidade de 5 Anos da Operação de Manutenção	48
4.3. ANÁLISE DE CICLOS DE INTERVENÇÕES.....	50
4.3.1. GENERALIDADES.....	50
4.3.2. DIFICULDADE DO SIMULA NA DEFINIÇÃO DOS CICLOS	51
4.3.2.1. Ciclos de Substituição de 20 anos – caso 1	52
4.3.2.2. Ciclos de Substituição de 30 anos – caso 2	53
4.3.2.3. Ciclos de Substituição de 10 anos – caso 3	54
4.3.2.4. Conclusões referentes aos ciclos com ou sem interrupção.....	55
4.3.3. PERÍODO DE CARÊNCIA DE INTERVENÇÕES.....	56
4.4. SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO	57
4.4.1. GENERALIDADES.....	57
4.4.2. TENDO EM CONSIDERAÇÃO DURAÇÕES PROBABILÍSTICAS E CUSTOS DETERMINÍSTICOS.....	57
4.4.3. TENDO EM CONSIDERAÇÃO DURAÇÕES E CUSTOS PROBABILÍSTICOS	59
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DE CAPÍTULO.....	60
 5. APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO	 63
5.1. INTRODUÇÃO	63
5.2. ANÁLISE DAS SITUAÇÕES SUJEITAS A SIMULAÇÃO	63
5.2.1. ENQUADRAMENTO	63
5.2.2. ESTIMATIVA DOS CUSTOS.....	64
5.3. DADOS BASE DE INÊS FLORES	65
5.3.1. ENQUADRAMENTO	65
5.3.2. DADOS RECOLHIDOS DE [FLORES, 2002]	65
5.3.3. CUSTOS FINAIS OBTIDOS PELO LCC.....	68
5.4. DADOS SUJEITOS A SIMULAÇÃO.....	69
5.4.1. ENQUADRAMENTO	69
5.4.2. APLICAÇÃO DE INCERTEZA AOS DADOS DE FORMA A USAR O SIMULA	69
5.4.2.1. Simulação 1	70
5.4.2.1.1. Aplicação da incerteza para a Simulação 1.....	70
5.4.2.1.2. Resultados obtidos da Simulação 1	73
5.4.2.2. Simulação 2	76
5.4.2.2.1. Aplicação da incerteza para a Simulação 2.....	76
5.4.2.2.2. Resultados obtidos da Simulação 2	78

5.5. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS	80
5.5.1. ENQUADRAMENTO	80
5.5.2. REBOCO MONOMASSA.....	81
5.5.3. MEMBRANA ELÁSTICA.....	81
5.5.4. TINTA PLÁSTICA	82
5.5.5. REVESTIMENTO CERÂMICO	82
5.5.6. REVESTIMENTO A PEDRA NATURAL	83
5.5.7. COMPARAÇÃO FINAL ENTRE REVESTIMENTOS	83
5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DE CAPÍTULO.....	85
 6. CONCLUSÕES	 87
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	88
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 91
 ANEXOS.....	 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1 – D. Afonso IV, “O Bravo”	3
Fig.1.2 – Segmento da reabilitação no sector da construção	4
Fig.1.3 – Percentagem de alojamentos por época de construção do edifício	5
Fig.1.4 – Taxas decrescimento de habitações e famílias em Portugal.....	5
Fig.1.5 – Número de alojamentos clássicos e número de famílias no ano de 2006	6
Fig.1.6 – Custos associados às actividades de construção	6
Fig.1.7 – Manutenção nas várias fases do empreendimento	7
Fig.1.8 – Origem dos erros na construção civil.....	7
Fig.2.1 – Exigências essenciais publicadas pela CEE em 1988	12
Fig.2.2 – Identificação do léxico com a estruturação dos actos de gestão.....	14
Fig.2.3 – Actividades do Gestão de Edifícios.....	14
Fig.2.4 – Processos da Actividade Técnica	15
Fig.2.5 – Processo da engenharia da Manutenção	15
Fig.2.6 – Custo Global de um Edifício.....	16
Fig.2.7 – Custo Anuais de Manutenção como % do custo da Construção tendo em conta a idade dos edifícios	18
Fig.2.8 – Relação entre as regras de funcionamento e a utilização	18
Fig.2.9 – Ordem dos trabalhos de Manutenção e Reabilitação	19
Fig.2.10 – Conceitos de intervenção no desempenho funcional de um edifício.....	19
Fig.2.11 – Tipos de Manutenção.....	20
Fig.2.12 – Lei de Sitter	24
Fig.2.13 – Curva Representativa do ciclo de vida de um elemento.....	26
Fig.2.14 – Degradação do desempenho	27
Fig.2.15 – Organização dos manuais de serviço	29
Fig.3.1 – Simulação Monte Carlo de um sistema genérico	35
Fig.3.2 – Entrada de dados do SIMULA	40
Fig.3.3 – Entrada de dados de cada EFM	40
Fig.3.4 – Fluxograma principal do Programa	41
Fig.3.5 – Algoritmo principal do Programa.....	42
Fig.4.1 – Exemplo de EFM com probabilidade determinística de intervenção	45
Fig.4.2 – Exemplo de EFM com probabilidade probabilística de intervenção	46
Fig.4.3 – Pilares fundamentais do SIMULA	46

Fig.4.4 – Taxa média de intervenção – centrada no décimo ano	47
Fig.4.5 – Distribuição das intervenções ao longo dos 50 anos.....	48
Fig.4.6 – Distribuição das intervenções ao longo dos 50 anos.....	48
Fig.4.7 – Taxa média de intervenção – centrada no quinto ano.....	49
Fig.4.8 – Distribuição das intervenções ao longo de 50 anos	49
Fig.4.9 – Distribuição das intervenções ao longo de 50 anos	50
Fig.4.10 – Exemplo esquemático do desenvolvimento dos ciclos	51
Fig.4.11 – Acções de substituição em conjunto com as acções de manutenção.....	52
Fig.4.12 – Primeiro ciclo de intervenções – caso 1.....	52
Fig.4.13 – Primeiro ciclo de intervenções – caso 2.....	54
Fig.4.14 – Primeiro ciclo de intervenções – caso 3.....	55
Fig.4.15 – Demonstração do período de carência	56
Fig.4.16 – Histograma de durações das operações até ao ano 22	57
Fig.5.1 – Custo das estratégias a aplicar ao Reboco Monomassa – Simulação 1.....	73
Fig.5.2 – Custo das estratégias a aplicar à Membrana Elástica – Simulação 1	74
Fig.5.3 – Custo das estratégias a aplicar à Tinta Plástica – Simulação 1	74
Fig.5.4 – Custo das estratégias a aplicar ao Revestimento Cerâmico – Simulação 1	75
Fig.5.5 – Custo das estratégias a aplicar ao revestimento Pedra Natural - Simulação1.....	75
Fig.5.6 – Custo das estratégias a aplicar ao Reboco Monomassa – Simulação 2.....	78
Fig.5.7 – Custo das estratégias a aplicar à Membrana Elástica – Simulação 2.....	78
Fig.5.8 – Custo das estratégias a aplicar à Tinta Plástica – Simulação 2	79
Fig.5.9 – Custo das estratégias a aplicar ao Revestimento Cerâmico – Simulação 2	79
Fig.5.10 – Custo das estratégias aplicar ao Revestimento em Pedra Natural – Simulação 2	80
Fig.5.11 – Comparação entre revestimentos, tendo em conta os resultados do SIMULA e LCC.....	84

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Fases do processo construtivo	10
Quadro 2.2 – Custos Diferidos	17
Quadro 2.3 – Operações da Manutenção Preventiva	21
Quadro 2.4 – Operações da Manutenção	23
Quadro 2.5 – Elementos Fonte Manutenção	25
Quadro 2.6 – Partes do comportamento de degradação	26
Quadro 3.1 – Carga dos Histogramas	33
Quadro 3.2 – Passos da fase de Simulação	33
Quadro 3.3 – Fases da Simulação de Monte Carlo	35
Quadro 3.4 – Etapas da Aplicação do Método de Monte Carlo aos Edifícios	36
Quadro 3.5 – Variáveis usadas para a simulação	37
Quadro 3.6 – Variáveis usadas para definição do EFM	38
Quadro 3.7 – Variáveis de armazenamento usadas no programa	38
Quadro 3.8 – Variáveis principais do algoritmo do programa	39
Quadro 4.1 – Taxa Média de Intervenção relativa à intervenção	51
Quadro 4.2 – Comparação de probabilidades do número de intervenções de manutenção após 60 anos – caso 1	53
Quadro 4.3 – Preços associados no final dos 60 anos – caso 1	53
Quadro 4.4 – Comparação das probabilidades do número de intervenções de manutenção após 60 anos – caso 2	54
Quadro 4.5 – Preços associados no final dos 60 anos - caso 2	54
Quadro 4.6 – Comparação das probabilidades do número de intervenções de manutenção após 60 anos – caso 3	55
Quadro 4.7 – Preços associados no final dos 60 anos – caso 3	55
Quadro 4.8 – Histogramas das operações de Manutenção sujeitas a simulação	57
Quadro 4.9 – Preços inerentes a cada intervenção nos anos em que seja provável a substituição	58
Quadro 4.10 – Histogramas dos preços das operações de Manutenção sujeitas a simulação	59
Quadro 4.11 – Preços inerentes a cada intervenção nos anos em que seja provável a substituição ..	59
Quadro 5.1 – Caracterização das estratégias.	64
Quadro 5.2 – Caracterização das estratégias aplicadas ao Reboco Monomassa	65
Quadro 5.3 – Caracterização das estratégias aplicadas ao Membrana Elástica	66
Quadro 5.4 – Caracterização das estratégias aplicadas à Tinta Plástica	66
Quadro 5.5 – Caracterização das estratégias aplicadas ao Revestimento Cerâmico	67

Quadro 5.6 – Caracterização das estratégias aplicadas ao Revestimento de Pedra Natural.....	67
Quadro 5.7 – Resultados dos custos das diferentes estratégias no ano 44 obtidos pelo LCC.....	68
Quadro 5.8 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Reboco Monomassa – Simulação 1.....	70
Quadro 5.9 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Membrana Elástica – Simulação 1.....	71
Quadro 5.10 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Tinta Plástica – Simulação 1.....	71
Quadro 5.11 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Revestimento Cerâmico - Simulação 1.....	72
Quadro 5.12 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Revestimento em Pedra Natural – Simulação 1.....	72
Quadro 5.13 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Reboco Monomassa – Simulação 2.....	76
Quadro 5.14 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções na Membrana Elástica – Simulação 2.....	76
Quadro 5.15 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções na Tinta Plástica – Simulação 2.....	77
Quadro 5.16 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Revestimento Cerâmico – Simulação 2.....	77
Quadro 5.17 – Aplicação de incerteza nos dados Revestimento no Revestimento a Pedra Natural – Simulação 2.....	77
Quadro 5.18 – Custos finais das estratégias e suas variações em relação ao valor do LCC - Reboco Monomassa.....	81
Quadro 5.19 – Custos finais das estratégias e suas variações em relação ao valor do LCC - Membrana Elástica.....	81
Quadro 5.20 – Custos finais das estratégias e suas variações em relação ao valor do LCC – Tinta Plástica.....	82
Quadro 5.21 – Custos finais das estratégias e suas variações em relação ao valor do LCC – Revestimento Cerâmico.....	82
Quadro 5.22 – Custos finais das estratégias e suas variações em relação ao valor do LCC – Revestimento a Pedra Natural.....	83

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

BS – British Standard

CCE- Comissão Económica Europeia

DEC – Departamento de Engenharia Civil

EC - Euroconstruct

EFM - Elementos Fonte de Manutenção

EN – Norma Europeia

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GE – Gestão de Edifícios

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPQ – Instituto Português da Qualidade

ISO – International Organization Standardization

LCC – Life Cycle Cost

M&R – Manutenção e Reabilitação

NP - Norma Portuguesa

RGEU - Regulamento Geral das Edificações Urbanas

TMF – Taxa Média de Falha

TF - Taxa de Falha

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A palavra manutenção provem do latim, “*manu tentiōne*”, ou seja, acto de segurar com a mão [PORTO EDITORA]. Não se sabe ao certo a data exacta da origem dos primeiros edifícios, mas é de prever que estes tenham surgido logo após o aparecimento das primeiras civilizações humanas, conferindo assim uma maior segurança e conforto às comunidades. Associado a este sentimento de protecção, surgiu a necessidade de prolongar e manter as características e exigências iniciais do edifício, emanando desta forma o conceito inicial da manutenção de edifícios e o qual se mantém no dias correntes.

Com o passar do tempo e aparecimento de novas tecnologias e métodos construtivos, a sociedade apresenta uma visão mais crítica quando colocada numa posição de análise do desempenho e da evolução do comportamento de um dado edifício ao longo da sua vida útil. Assim sendo, torna-se vital a consciencialização de todos os intervenientes no processo construtivo das medidas que garantam o desempenho esperado para um determinado edifício. Segundo um relatório francês do ano de 1980, realizado pela BUREAU SECURITAS, “*quarenta e três por cento do custo total de reparações na indústria da construção civil provem de problemas com origem em fase de projecto*” [COSTA, 2009]. Esta constatação vem confirmar que as informações técnicas básicas de manutenção que garantam determinados níveis exigências esperados para um edifício devem ser estudadas logo na fase inicial, em fase de projecto.

Todos os edifícios, desde o mais simples até ao mais imponente e complexo, ao longo das suas vidas úteis apresentam um comportamento análogo ao do homem, tal como o este fica mais velho e desgastado, também os edifícios seguem esta linha de tendência. De forma a manter e resguardar as exigências funcionais inerentes ao edifício, torna-se preponderante proceder a medidas de manutenção. Com a realização de acções manutenção, consegue-se prolongar de certa forma a vida útil de um edifício, sendo que estas acções deveram actuar e conduzir a um patamar superior de eficácia os elementos e componentes específicos do edifício.

Tendo por base os seus objectivos finais, a manutenção deveria ser encarada e vista como qualquer outra actividade inerente ao processo construtivo. A nível europeu, o volume de obras de recuperação, de manutenção e de conversão de edifícios, são superiores em cinquenta por cento do mercado da construção de habitação nova. Contudo, em Portugal este sector não atinge os dez pontos percentuais do total das obras realizadas, ficando isto a dever-se à difícil implementação dos hábitos de

manutenção, pois apresentam-se como tarefas com custos, durações e localização temporal de difícil previsão, e à falta de atenção prestada a este sector pelas entidades públicas e privadas.

Um outro aspecto relevante está relacionado com a actual lei de arrendamento, onde os inquilinos pagam rendas muito baixas, condicionando economicamente a viabilização de procedimento de manutenção por parte dos proprietários. O director-geral da Associação de Empresas de Construção e Obras Publicas, José Tomaz Gomes, vai de encontro a estas ideias, afirmando numa entrevista ao Diário de Notícias o seguinte:

“...Com os aumentos estabelecidos por lei, que são irrisórios, os senhorios não têm capacidade económica para fazer reparações e obras de recuperação nos edifícios. O Estado é que devia subsidiar os inquilinos carenciados....

...A realidade é que na maioria dos casos as rendas não chegam para pagar o IMI (Imposto Municipal sobre Imóveis), quanto mais para fazer manutenção. A isto acresce o segmento da habitação própria - única maneira que os portugueses encontraram para ter casa nova, uma vez que as rendas recentes são altas e os juros do crédito à habitação se mantêm baixo, em que muitos proprietários não conseguem cumprir as suas obrigações...”

Por Helena Santareno, Diário de Notícias. 05/09/2005 [SANTARENO, 2005]

Por fim, e não menos relevante, resta referir que as falhas nos sistemas de manutenção não se devem à falta de legislação. Em Portugal, para combater a degradação do património edificado, está implementado desde 1951o RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas. A proposta do novo RGEU estabelece-se que o proprietário assegure a realização de inspecções periódicas correntes e especiais de acordo com o Manuais de Inspeção e Manutenção da Edificação (MIME).

1.2. OBJECTIVO DA DISSERTAÇÃO

O comportamento de um edifício em fase de serviço não é de fácil compreensão. O objecto de estudo na presente dissertação vai de encontro a essa problemática, recorrendo a um programa com uma rotina informática definida, o processo SIMULA.

“Utiliza-se o Programa SIMULA para, de uma forma geral conhecer a distribuição da incerteza que afecta fenómenos cíclicos sendo conhecido o ciclo base.” [CALEJO, 2001]

Segundo esta informação, o processo SIMULA integra na sua rotina vários factores condicionantes da durabilidade de um determinado componente construtivo, estando associado a este a respectiva incerteza. Sendo objectivo desta dissertação o estudo da forma como as incertezas inerentes às durações e aos custos das actividades de manutenção se distribui ao longo do tempo.

Desta forma, no presente trabalho vai se proceder à modelação do comportamento ao nível técnico e económico de alguns elementos usados na construção. Essa modelação é feita com recurso ao Software SIMULA e dados determinísticos e probabilísticos previamente recolhidos. Após a elaboração do processo de simulação comportamental, realizar-se-á uma comparação entre os resultados obtidos experimentalmente das simulações, com os resultados atingidos pelo método do *Life Cycle Cost*, e consequentemente serão analisadas as devidas conclusões.

1.3. CONSCIENCIALIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO

1.3.1. NOTAS HISTÓRICAS

Ao longo do processo evolutivo histórico do Homem, mais concretamente no momento em que este deixou de ser nómada e se instalou num local fixo, teve a necessidade de construir um abrigo que lhe fornecesse condições mínimas, assim como para os seus recursos alimentares. Ao acto de construção de um edifício estão inconscientemente associados procedimentos de manutenção de forma a prolongar o tempo de vida útil de tal construção.

As mais antigas referências históricas descritivas de processos de manutenção de edifícios remontam ao tempo do Antigo Egipto, no Reinado Médio, 12ª Dinastia, faraó Senwosret II 1895 AC. Estas descobertas devem-se ao egiptólogo Sir Flinder Petrie, que no desenrolar de escavações na pirâmide de Kahun, identificou um conjunto de objectos que se destinavam à reparação de edifícios. [CALEJO, 2001]

No século I AC, durante o Império Romano o Engenheiro/Arquitecto e Construtor Marcus Vitruvius Pollio, num documento composto por 10 volumes designado por “*De Architectura libri decem*” descrevia de forma detalhada a forma de manter e cuidar os edifícios da época. [CALEJO, 2001]

Com a chegada da idade média verificaram-se fenómenos de reutilização de monumentos provocando rupturas históricas relevantes por implicarem algumas alterações arquitectónicas sem no entanto alterar o seu comportamento estrutural. [LOPES, 2005]

Segundo [CALEJO, 2001], após um incêndio que destruiu grande parte de Londres surge o *Building Act of London* de 1667, como sendo o primeiro documento a procurar instituir a obrigatoriedade de regras de conservação dos edifícios para os utentes. Referindo-se ainda várias directrizes relacionadas com a iluminação, ventilação e limpeza interna dos edifícios.

Em meados do século XVIII iniciou-se no Reino Unido a Revolução Industrial. Neste período de grande desenvolvimento tecnológico e inovação de técnicas e materiais construtivos, segundo [CALEJO, 2001] os desenvolvimentos da construção parecem sobrepor-se à preocupação da sua conservação. Com isto, verificou-se no século XIX um forte envelhecimento e degradação dos edifícios históricos devido à total ausência de manutenção, levando o projectista, poeta e autor William Morris a publicar um Manifesto, no ano de 1877, focado nas necessidades da Manutenção dos edifícios.

Em Portugal, no século XIV já D. Afonso IV expressava uma certa preocupação com as importâncias da inventariação do edificado histórico para sua protecção e preservação. Contudo, apenas em 1880 surge a primeira lista classificativa dos monumentos nacionais. [LOPES, 2005]



Fig.1.1 – D. Afonso IV, “O Bravo” [WIKIPEDIA]

Com a chegada o Estado Novo surgiu os primeiros registos alusivos à manutenção de edifícios, associados ao programa centenário da construção de edifícios e hospitais escolares em Lisboa e no Porto, que possuíam informação ao nível da inspecção e conservação.

Em Veneza, no ano de 1964 foi publicada a “*Carta Internacional do Restauro*” com o fim de alargar o conceito de conservação monumentos, anteriormente definido na “*Carta de Atenas*”, divulgada no ano de 1933, resultante do IV Congresso Internacional de Architecturas Moderna (CIAM).

Mais recentemente, e baseada nos fundamentos da “*Carta Internacional do Restauro*”, desenvolveu-se a “*Carta de Cracóvia 2000 – Princípios para a Conservação e Restauro do Património Construído*”, que veio de certa forma introduzir uma alargamento no conceito de património arquitectónico, passando este a abranger todos os imóveis, dos mais pequenos até aos grandes monumentos. [Lopes, 2005]

Desta forma, assistiu-se ao longo da história a uma evolução de conceitos e hábitos de manutenção de edifícios, chegando aos dias de hoje já englobando as problemáticas inerentes à gestão dos bens imóveis.

1.3.2. CONSCIÊNCIA SOCIAL

A sociedade portuguesa ainda não se encontra mentalizada da importância da implementação de planos de manutenção periódica na fase inicial do empreendimento. Em Portugal, está inerente o “hábito” de reagir apenas quando se dá o aparecimento das anomalias, atingindo-se em determinados edifícios casos de grande degradação com custos de melhoramento elevados e não acessíveis aos proprietários.

Os custos elevados da manutenção não planeada do património edificado, conduziram na maioria das vezes a que estes cheguem a elevados estados de degradação. Então, a forma de agir nestes edifícios passa pela reabilitação. Segundo os dados do Euroconstruct em 2002 representados na figura 1.2, Portugal era o país que menos reabilitava, e que de certo modo retrata o estado de gradação dos edifícios nos centros históricos portugueses.

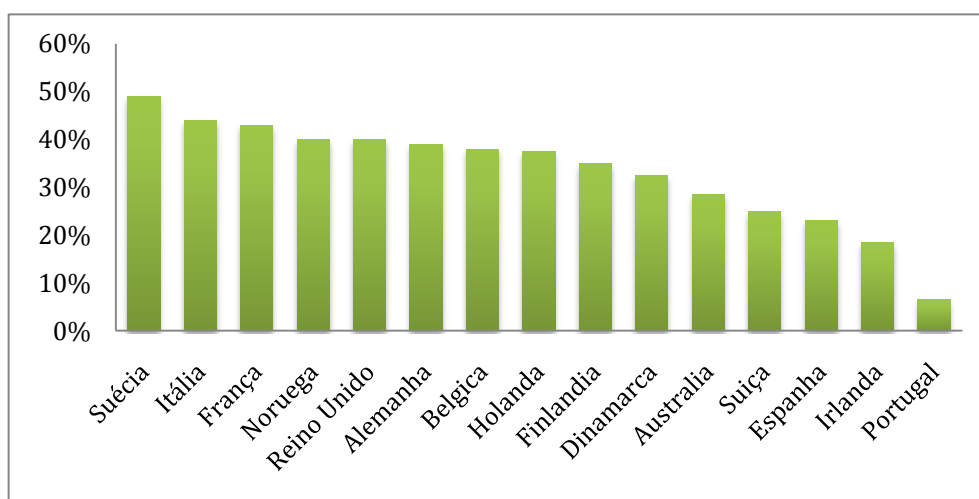


Fig.1.2 – Segmento da reabilitação no sector da construção em 2002. [EUROCONSTRUCT, 2008]

Se a nível nacional a política da reabilitação não estava muito em voga, o mesmo já não se pode dizer em relação à construção nova. Sendo assim, de acordo com os dados do INE, Portugal tornou-se no início deste milénio um dos países europeus com habitação mais recente. Conforme se pode constatar na figura 1.3, 44% dos fogos nacionais foram construídos depois do ano de 1981, valor substancialmente superior à média da União Europeia, apenas com 23%.

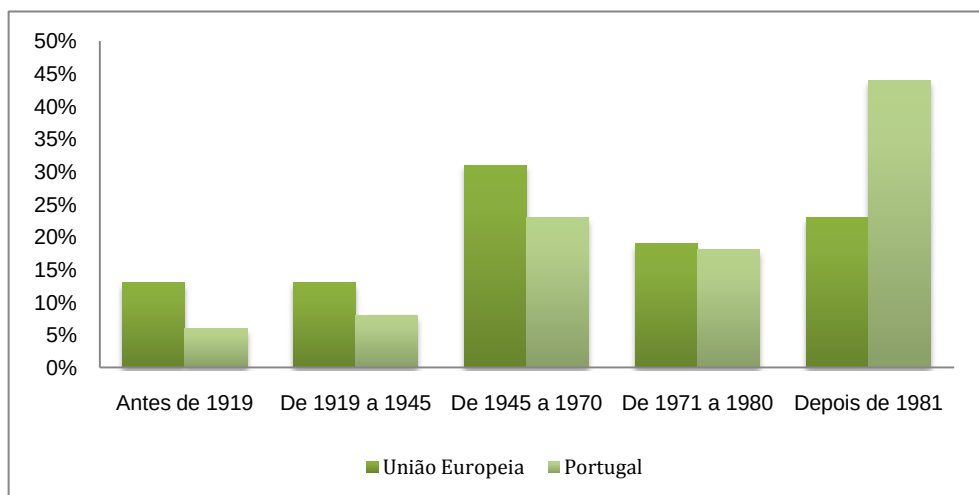


Fig.1.3 – Percentagem de alojamentos por época de construção do edifício. ([INE, CENSOS 2001] adaptado de [Pinho *et al*, 2005])

Em Portugal, o parque habitacional manteve nos anos 90 os ritmos de crescimento que regista desde 1970. Verifica-se na figura 1.4, que o ritmo de crescimento dos alojamentos nos últimos 30 anos tem sido sempre superior a 20% e sempre superior ao número de famílias.

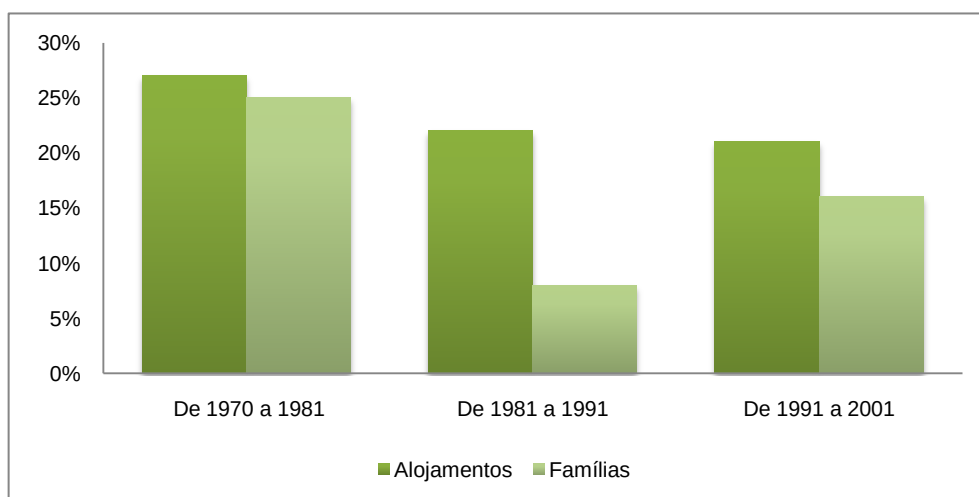


Fig.1.4 – Taxas decréscimo de habitações e famílias em Portugal. [INE, CENSOS de 1970, 1981, 1991 e 2001]

Nos dias correntes, é necessário olhar para a construção de uma forma distinta, e com auxílio dos sectores público e privado inverter a actividade da construção nova para reabilitação. Pois é praticamente impossível continuar com o ritmo de construção de edifícios novos. Segundo dados do INE, referentes ao ano de 2006, em Portugal o número de habitações excede o número de famílias.

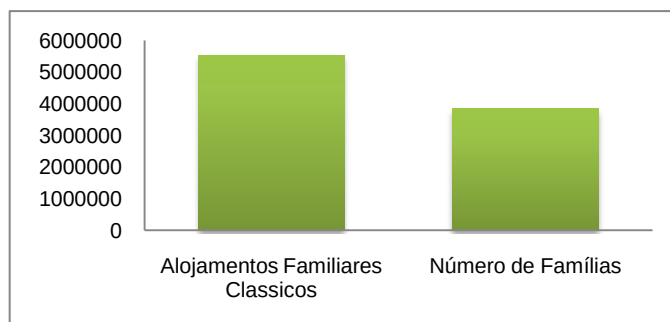


Fig.1.5 – Número de alojamentos clássicos e número de famílias no ano de 2006. [INE]

Até aos anos cinquenta, as preocupações relacionadas com a manutenção do património edificado foram deixadas praticamente de lado, colocando em causa a salubridade e segurança de alguns edifícios. Nos dias correntes, é ainda possível encontrar alguns destes edifícios e notar que se encontram em grave estado de degradação, originado pela falta de manutenção. De notar, que a presença de patologias em edifícios, compromete a satisfação das exigências inicialmente previstas pelos utentes, assim como condicionam o tempo de vida útil do imóvel.

O aumento da procura de habitações novas, aliado à pouca experiência profissional, à deficiência de meios de produção e à falta de organização dos intervenientes, associou à construção vários tipos de erros.

O processo de construção de um empreendimento/edifício é caracterizado pelas acções necessárias à execução da obra, desde o aparecimento da ideia até a fase de exploração, contemplando nas situações comuns, três fases principais distintas no tempo, a fase de projecto, fase de exploração e a fase de execução.

Segundo os dados recolhidos de [COIAS, 2008], apenas cerca de 2 a 5% dos custos totais inerentes à construção e exploração de um edifício correspondem à concepção, projecto e fiscalização, por sua vez os custos de manutenção e utilização representam uma grande fatia dos custos globais de um edifício, aproximadamente 80%.

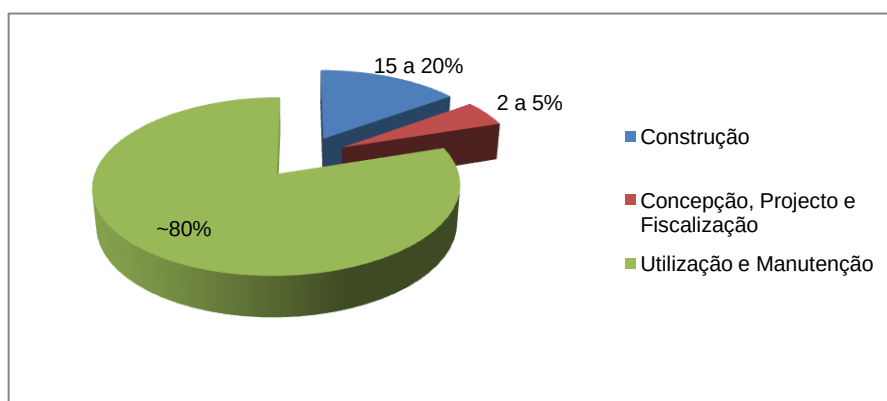


Fig.1.6 – Custos associados às actividades de construção. [COIAS, 2008]

Torna-se assim necessário, um maior investimento nas fases iniciais de concepção, projecto, fiscalização e construção, a fim de reduzir os custos a longo prazo de exploração e manutenção, obtendo no final, uma redução bastante significativa do custo total do empreendimento.

Dado isto, a optimização dos custos de um dado empreendimento passa pela melhoria contínua do ciclo de qualidade, conforme se verifica na figura 1.7, condicionada pela interdependência de todos os intervenientes no processo construtivo, aos quais são pedidas responsabilidades pela boa manutenção de edifícios. [FERREIRA, 2009]

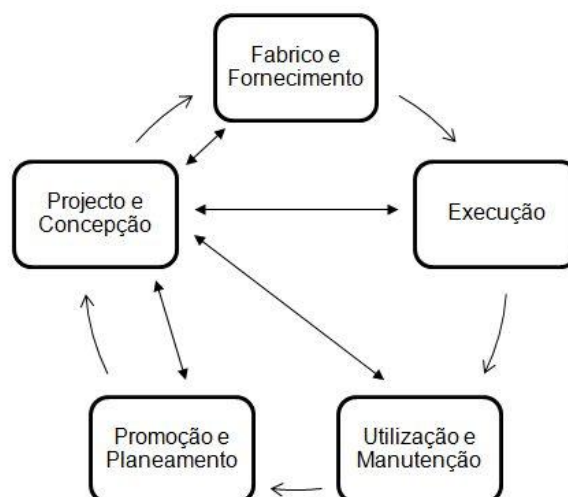


Fig.1.7 – Manutenção nas várias fases do empreendimento. (adaptado de [Melhado, 1994] citado por [FERREIRA, 2009])

Para obtenção de uma melhor qualidade das fases do empreendimento é necessária uma actualização contínua de informação em todas as estas fases, sendo esta difundida a todos os seus intervenientes, afim de estes aperfeiçoarem a sua forma de actuação evitando a repetição de erros cometidos e atingir níveis de qualidade superiores.

É na fase de projecto e na fase de execução onde mais se verificam a ocorrência de erros. Estes conjugados com a falta de consciencialização de medidas de gestão e manutenção, podem levar ao aparecimento de diversas anomalias nos edifícios. Na figura 1.8 é destacada e retratada a influência de cada fase do processo construtivo no aparecimento de anomalias nos edifícios.

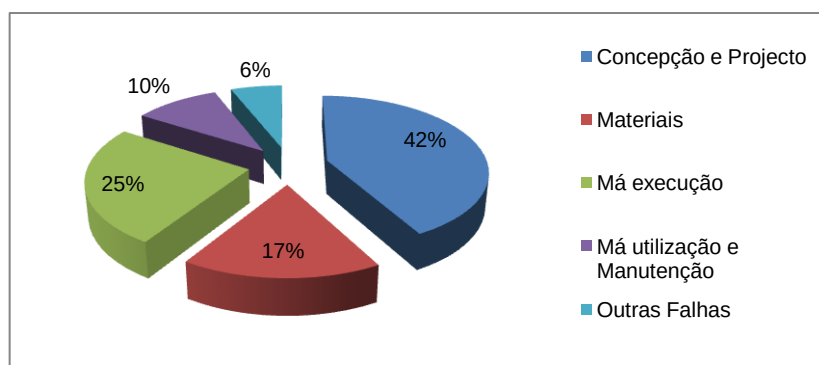


Fig.1.8 – Origem dos erros na construção civil [COIAS, 2008]

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos, referências bibliográficas e anexos, apresentando-se constituída por duas partes principais. A parte inicial aborda várias questões relacionadas com a Manutenção de Edifícios, desde a sua evolução histórica até aos dias de hoje. A segunda parte do trabalho é focada no estudo e análise do comportamento de edifícios através da simulação de dados.

No primeiro capítulo faz-se uma introdução às problemáticas inerentes à manutenção de edifícios, e descreve-se a finalidade do trabalho, assim como a sua estrutura.

No capítulo dois são analisadas as diversas teorias associadas à manutenção, descriminando os diversos tipos de fazer manutenção e as vantagens inerentes a cada um. Faz-se uma abordagem das questões relacionadas com gestão de edifícios e com as políticas de manutenção.

O terceiro capítulo é reservado ao simulador utilizado, descrevendo o algoritmo matemático que está na sua origem, e analisado de forma detalhada o método inerente ao SIMULA, o método de Monte Carlo.

No capítulo quatro são discutidos vários pontos referentes ao SIMULA. A análise dos ciclos das intervenções de manutenção, ao nível da sua periodicidade, graus de incerteza, e forma como estes deveram ser encarados no âmbito da simulação.

No capítulo cinco dá-se a aplicação do modelo de simulação, com auxílio de dados recolhidos da Tese de Mestrado de Inês Flores, e com base nos resultados obtidos serão posteriormente tiradas as respectivas conclusões e feitas a análise das simulações.

Por fim, o último capítulo é destinado à apresentação das principais conclusões do estudo realizado, sendo salientadas as principais dificuldades encontradas e as recomendações de evolução futura no âmbito da manutenção e simulação do comportamento de edifícios.

2

CONCEITOS E NOÇÕES DE MANUTENÇÃO

2.1. INTRODUÇÃO

A degradação dos edifícios inicia-se logo após a conclusão da sua construção, surgindo neste momento também as necessidades de manutenção. Nos dias de hoje, devido aos elevados custos associados à construção nova, a manutenção de edifícios existentes possui bastante importância. Desta forma torna-se possível e preponderante manter em bom estado a aparência dos edifícios e salvaguardar as garantias do investimento inicial.

Com o avançar do tempo os proprietários dos edifícios mudaram a forma de olhar para a manutenção dos seus imóveis. A consciencialização de que a manutenção deve ser encarada como qualquer outra actividade empresarial, traduz-se na importância de planejar e pensar a manutenção e não actuar nos edifícios apenas de forma reactiva, isto é, agir apenas quando aparecimento das patologias. Por exemplo, o simples acto de limpeza de uma calha ou fixação de uma telha pode evitar no futuro problemas mais caros. [BABOR *et al*, 2008]

O tipo de uso ou de finalidade de um edifício condiciona o modelo de manutenção a que a ele deve estar inerente. É de fácil constatação que um edifício de uso público está sujeito a maiores níveis de desgaste, principalmente nas zonas de corredores e escadas, quando comparado com uma residência familiar.

2.2. DEFINIÇÕES GERAIS NA MANUTENÇÃO

Como será possível ver mais à frente, a manutenção aplicada aos edifícios, rege-se por acções de limpeza, inspecção, reparação e substituição dos componentes e sistemas dos edifícios, não deixando estes caírem abaixo do seu nível de aceitabilidade. É necessário ter em mente que as definições não são estáticas, evoluem e mudam ao longo do tempo, à luz da experiência e da reavaliação.

De acordo com o dicionário da língua Portuguesa da Porto Editora, a palavra manutenção refere-se ao acto ou efeito de manter e conservar ou ao conjunto de medidas indispensáveis ao funcionamento normal de uma máquina ou de qualquer tipo de equipamento.

A primeira norma internacional a abordar questões relacionadas com a manutenção industrial surgiu no Reino Unido, BS 3811:1984, referindo-se à manutenção como sendo o acto de realização de várias acções de forma combinada, de forma a manter um item, ou restaura-lo para uma condição aceitável. [LOPES, 2005]

De acordo com a norma [ISO 15686-1, 2000] a “*Manutenção é a combinação de acções técnicas e respectivos procedimentos administrativos que, durante a vida útil dum edifício e suas componentes, se destinam a assegurar que este desempenhe as funções para que foi dimensionado*”.

Segundo a BS 8210:1986 a manutenção de edifícios é definida como o trabalho, para além da rotina diária de limpeza, necessário para manter o desempenho do edifício e seus serviços. [WOOD, 2003]

Quanto à manutenção planeada, esta foi definida pela BS 3811:1984 como a manutenção organizada e realizada com premeditação, controlo e uso de registos de planos pré-determinados. [WOOD, 2003]

Em Portugal, o Instituto Português da Qualidade (IPQ) publicou a NP EN 13306:2007 – “Terminologia da Manutenção”. Esta norma define a manutenção como sendo a combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado a sua função requerida.

2.3. A MANUTENÇÃO COMO PARTE INTEGRANTE DE UM EMPREENDIMENTO

2.3.1. GENERALIDADES

As metodologias de manutenção deverão começar a ser analisadas na fase de projecto e prolongarem-se pelas restantes fases do empreendimento de forma a rentabilizar os meios disponíveis, dentro de uma solução óptima e satisfação dos utentes.

A apreciação da manutenção por parte do projectista é fundamental, pois as decisões e soluções por este adoptadas condicionarão a manutenção e duração dos componentes e elementos construtivos. Apesar do papel relevante do projectista no processo de construir, aos restantes intervenientes (dono de obra, promotor, construtor, utentes, empresa de gestão de condomínios, empresa de manutenção entre outros) também são pedidas responsabilidades pela manutenção de edifícios.

2.3.2. FASES E INTERVENIENTES DA CONSTRUÇÃO

Com base no apresentado por [FLORES, 2002], o processo construtivo rege-se pelas seguintes fases:

Quadro 2.1 – Fases do processo construtivo. (Adaptado de [FLORES, 2002])

Promoção e Planeamento
Concepção e Projecto
Fabrico e Fornecedores
Execução
Utilização e Manutenção

A Promoção é a primeira fase do processo construtivo e deve ser baseada em análises económicas e sociais, tendo em vista a optimização do produto final. Nesta fase é fundamental a consciencialização dos promotores que a ideia de redução de custos iniciais e rentabilidade do investimento a curto prazo está errada, revelando-se assim importante o estabelecimento de objectivos, níveis de qualidade e custos totais envolvidos.

Após a escolha da equipa projectista na fase de promoção, desenrolar-se-á a fase de Concepção e Projecto e que possui maior influência na escolha de soluções tecnológicas, dos materiais de acordo com a sua funcionalidade e durabilidade e dos custos envolvidos. Na óptica da manutenção, de acordo com [FLORES, 2002], nesta fase deverá ser iniciado um “Plano de Manutenção e Utilização”, onde devem estar indicadas as medidas de manutenção a executar, a sua periodicidade e recomendações de utilização.

Os fabricantes e fornecedores são obrigados a cumprir determinadas especificações de forma a garantir uma melhoria da qualidade de fabrico dos materiais. Por vezes, com a inovação dos produtos e sua célere inserção no mercado, muitos materiais são aplicados sem o total conhecimento do seu comportamento a longo prazo. É tarefa da equipa projectista a escolha adequada dos materiais e componentes, verificação da sua conformidade técnica e forma de aplicação.

Durante a Execução da obra é obrigatório o cumprimento de todas as questões legais por parte do empreiteiro, respeitando as indicações do projecto e as várias especificações técnicas. Sendo assim, o papel da Fiscalização representará extrema importância na garantia da qualidade de execução e no cumprimento das normas legais.

A fase de Utilização e Manutenção é recorrentemente esquecida, devido à sua longa extensão no tempo e pela forma lenta como ocorre a depreciação dos edifícios. Na maioria dos casos é o respectivo proprietário, ou um técnico de manutenção que assegura a gestão da manutenção e utilização do edifício. Recorrentemente, e na generalidade das situações, os trabalhos de manutenção estão inerentes a situações de anomalias imprevisíveis e com necessidades de resolução rápida.

Por último, é também recorrente a verificação de empresas gestoras de projecto na busca de uma maior integração em todo o processo de construção, actuando como ligação entre o promotor e os agentes de execução. As entidades gestoras apresentam formação multidisciplinar, controlam as várias especialidades e facilitam a gestão e actualização da informação, dando seguimento durante a fase de utilização. [FLORES, 2002]

2.4. ENQUADRAMENTO GERAL DO EDIFÍCIO EM SERVIÇO

2.4.1. GENERALIDADES

Na grande generalidade, qualquer tipo de edifício em serviço acarreta vários custos para o seu proprietário. Dado isto, é necessária uma certa consciencialização do impacte a nível social e económico que um imóvel pode provocar.

O estudo do comportamento de um edifício em serviço pode revelar-se em determinadas situações bastante complexo. A linha de desenvolvimento do seu comportamento é sem dúvida condicionada por diversos factores. A sua forma não intuitiva de utilização, as suas debilidades escondidas por detrás de uma robustez aparente, faz com que o aparecimento de acidentes no edifício seja uma constante no decorrer da sua vida útil. [CALEJO, 2008]

2.4.2. REQUISITOS ESSENCIAIS

Para uma mais fácil compreensão do funcionamento de um edifício em serviço, pode-se encarar este como um sistema de “partes” ligadas organizadamente entre si. Seguindo a mesma linha lógica de divisão, cada sistema do edifício desagrega-se em elementos ou subsistemas de construção. Através

das exigências de desempenho consegue-se avaliar de forma qualitativa ou quantitativa o comportamento de cada elemento de construção em fase de serviço. [FARIA, 2004]

Em 1988, a então Comunidade Económica Europeia (agora União Europeia) publicou a Directiva dos Produtos de Construção com a introdução do conceito de exigência essencial. Assim as exigências essenciais, descritas na figura 2.1, aplicam-se às obras e constituem o conjunto dos requisitos mínimos que as obras de construção e edifícios devem respeitar de modo a ser consideradas aptas ao uso durante o período de vida para o qual foram concebidas. [FARIA, 2004]

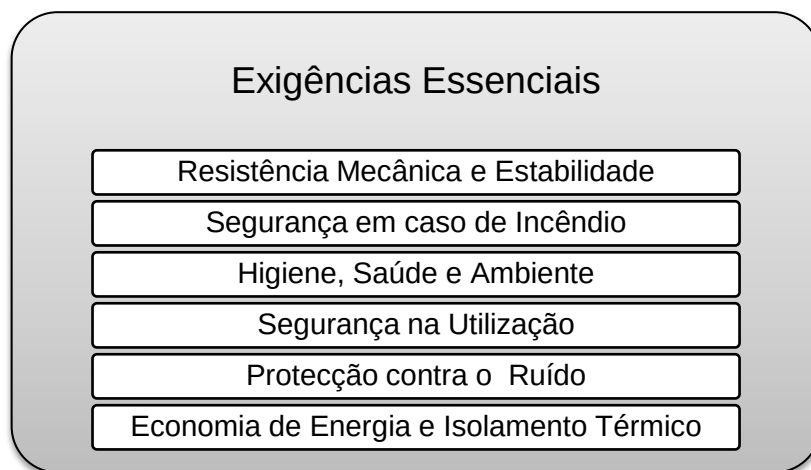


Fig.2.1 – Exigências essenciais publicadas pela CEE em 1988. [Adaptado de FARIA, 2004]

Para além destas exigências essenciais é necessário considerar outro tipo de exigências, designadamente: [MATOS, 2007]

- Conforto Visual;
- Durabilidade;
- Adaptação à normal utilização;
- Manutenção e Reparação.

Atendendo à forma como os edifícios reagem às acções exteriores durante a fase de serviço e ao definido na fase de projecto verificar-se-ão quais as medidas de manutenção a aplicar sobre estes, fazendo com que as exigências inicialmente previstas para o edifício sejam cumpridas.

2.5. GESTÃO DE EDIFÍCIOS

2.5.1. GENERALIDADES

De um modo geral torna-se difícil encontrar uma definição universalmente aceite para o conceito de gestão, embora no último século se tenha verificado uma grande evolução para definição deste termo. Nos dias de hoje existe algum consenso relativamente a que a gestão deva incluir um conjunto de tarefas capazes de garantir a afectação eficaz de todos os recursos disponibilizados pela organização, de forma a atingir determinados objectivos.

É através da gestão que se procede à optimização do funcionamento das organizações, tendo por base a tomada de decisões racionais e fundamentadas na recolha de dados e informação de interesse. Desta forma, contribui-se para satisfação das necessidades e interesses dos intervenientes.

Dadas as suas características faz todo o sentido englobar a gestão na construção civil, iniciando-se na fase de projecto, passando pela fase de construção da obra e prolongando até ao final da vida útil do edifício. A gestão realizada após a conclusão do edifício é designada por Gestão de Edifícios.

Na última década o interesse na compreensão do desempenho e processos da manutenção dos edifícios era muito baixo. No entanto, com a recessão económica cada negócio é enfrentado como um desafio de minimização dos custos das operações. A procura constante da optimização dos custos das operações de manutenção é uma responsabilidade dos gestores envolvidos na manutenção de edifícios. [LEE *et al*, 2008]

A Gestão de Edifícios é a caracterização de todo o conjunto de acções e procedimentos, que é necessário afectar a um edifício após a sua construção de forma a otimizar o seu desempenho. Pois se considerarmos o imóvel como um bem, considera-se que o objectivo fundamental da sua utilização é optimiza-lo nessas vertentes, ou seja como “bem” e como “recurso”. [CALEJO, 2001].

De acordo com [COIAS, 2006] a metodologia de gestão de edifícios visa inverter a tendência até agora verificada, nomeadamente:

- A adopção de acções correctivas tardias, que aumentam os custos e introduzem perturbações no funcionamento normal dos edifícios, que podem no limite, levar ao colapso dos elementos estruturais.
- Intervenções de reparação inadequadas, com deficientes escolhas e aplicação de materiais e técnicas, originando a recorrência das anomalias e obrigando a novas intervenções, agravando cada vez mais os custos.

Segundo [CALEJO, 2001] a maximização do desempenho de um edifício em fase de utilização significa obter durante o máximo de tempo possível e ao menor custo a resposta funcional para que foi previsto. Esta maximização só é atingida se o utilizador e/ou gestor apresentar um atitude sistémica que é típica da Gestão e regida por:

- Optimização da utilização;
- Promoção de acções de manutenção;
- Observação de comportamentos e acção em conformidade;
- Protecção.

Na Gestão de forma a atingir determinados objectivos, é fundamental a organização das metodologias de trabalho. As actividades correspondem ao agrupamento dos processos que vão de encontro às exigências para satisfação dos objectivos. Por sua vez, os processos são a organização de procedimentos que satisfazerem as exigências. Para uma melhor compreensão desta lógica de organização surge a seguinte figura.

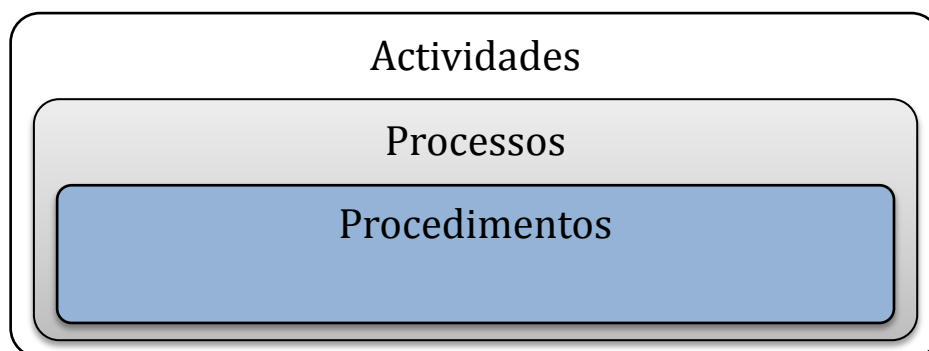


Fig.2.2 – Identificação do léxico com a estruturação dos actos de gestão. [Adaptado de CALEJO, 2001]

2.5.2. ACTIVIDADES DA GESTÃO DE EDIFÍCIOS

A Gestão de Edifícios procura dar resposta aos problemas de uma forma mais rentável, focando-se na maximização do desempenho e minimização dos custos e riscos. Para uma melhor compreensão a Gestão de Edifícios pode ser encarada segundo três actividades fundamentais.

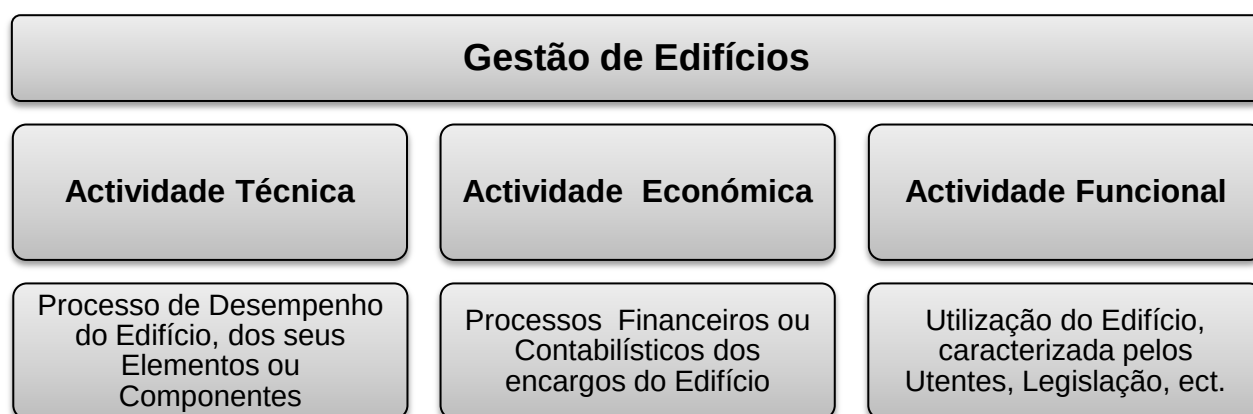


Fig.2.3 – Actividades do Gestão de Edifícios. [Adaptado de CALEJO, 2001]

2.5.2.1. Actividade Técnica

Mais relacionada com a Engenharia Civil, é através da actividade técnica que se procura o melhor desempenho do edifício e de todos os seus componentes, não deixando que estes se degradem com o evoluir do tempo.

Inerente à actividade técnica estão associados outros processos, que de uma forma agrupada procuram maximizar os objectivos de desempenho e valorização dos imóveis, figura 2.4.

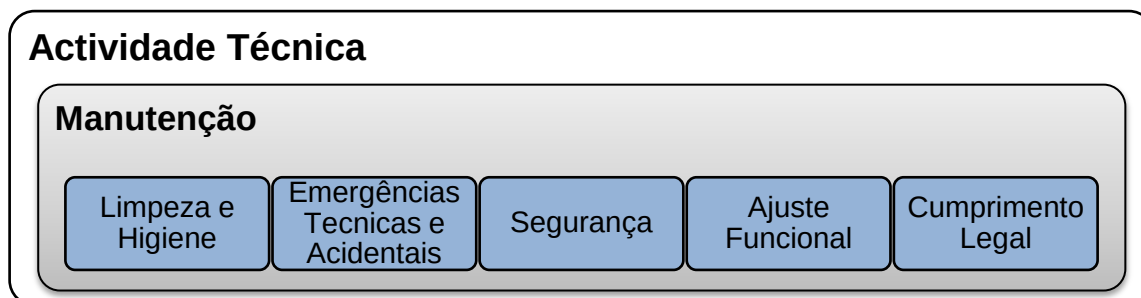


Fig.2.4 – Processos da Actividade Técnica [Adaptado de CALEJO, 2001]

Pode-se afirmar que o processo de manutenção devido à sua grande abrangência pode englobar todos os outros processos constituintes da actividade técnica. É através de processos de manutenção que se procura a prevenção e a correcção de possíveis patologias nos edifícios, protegendo desta forma os seus componentes e elementos constituintes. Embora a manutenção seja aparentemente vista como uma operação técnica, esta deve ser complementada por diferentes práticas de gestão, de forma a planear a execução das várias actividades de manutenção. [LEE *et al*, 2008]

A gestão da manutenção deve ser regida por uma sequência lógica e não estar condicionada a actividades temporais. ([ARBIZZANI, 1992] citado por [FLORES, 2002])

De acordo com [FLORES, 2002] o processo de Manutenção de edifícios tem sido caracterizado por três funções principais:

- Gestão do sistema de Manutenção;
- A execução adequada e própria dos trabalhos de Manutenção;
- A monitorização do estado de conservação dos elementos.

Podendo-se esquematizar o processo da seguinte maneira:

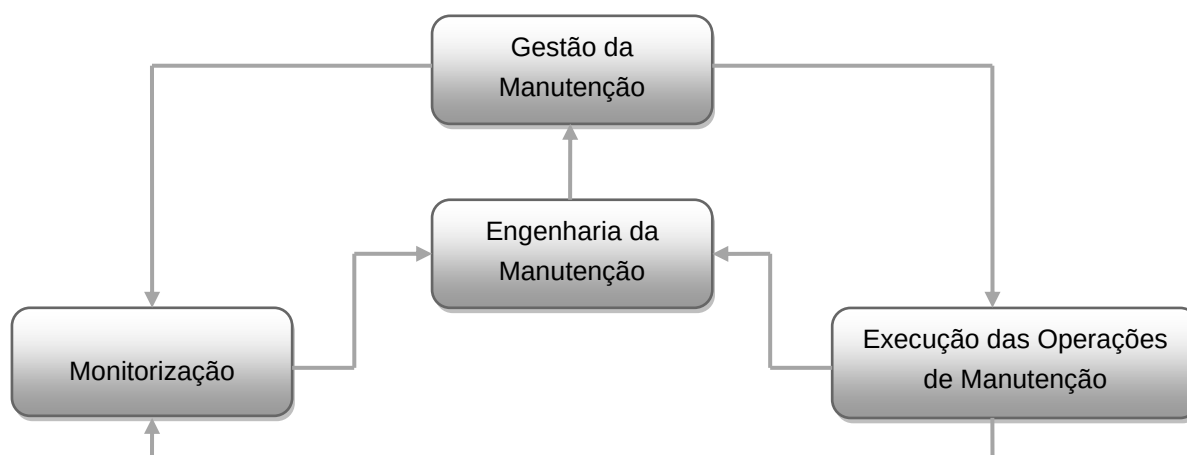


Fig.2.5 – Processo da engenharia da Manutenção (Adaptado de [ARBIZZANI, 1991] citado por [FLORES, 2002])

2.5.2.2. Actividade Económica

A actividade económica subjacente à Gestão de Edifícios assenta em princípios que procuram garantir os fluxos económicos necessários à boa utilização de um imóvel. Em geral, é através da actividade especulativa que se dá a valorização do património, cingindo-se na maioria das vezes a actividade económica a repetitivas avaliações dos imóveis, de maneira a não deixar passar em claro uma boa altura para vender. [CALEJO, 2001]

Nos dias correntes, a nível económico não se podem encarar os custos inerentes a um imóvel como sendo apenas os de aquisição. Cada vez mais, os custos diferidos no tempo tomam mais relevância. Sendo assim, os proprietários de património edificado devem estar cientes que o investimento num edifício não termina no momento da compra. Na figura 2.6 apresentam-se discriminados os custos globais de um edifício.

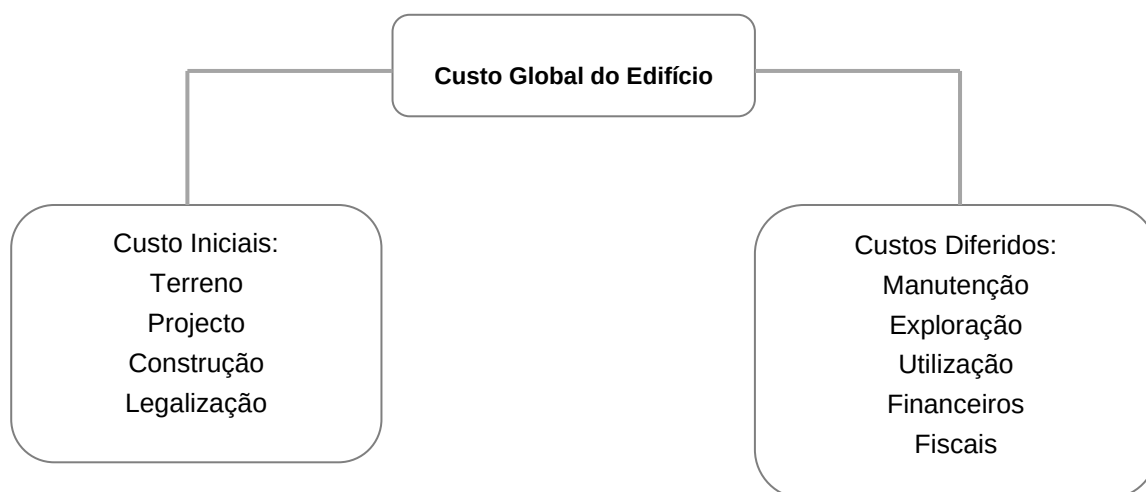


Fig.2.6 – Custo Global de um Edifício

É notória a existência de uma relação entre os custos iniciais e os custos diferidos, sendo essa relação de proporcionalidade inversa. Sendo assim, edifícios com baixos custos iniciais acarretam elevados encargos económicos durante sua fase de utilização.

Apresenta-se no quadro 2.2 o âmbito dos cinco tipos de custos diferidos.

Quadro 2.2 – Custos Diferidos. (Adaptado de [CALEJO, 2001])

Custos Diferidos	Manutenção	Os custos de manutenção dizem respeito às acções preventivas e/ou correctivas planeadas a aplicar no edifício.
	Exploração	Os encargos económicos provocados por uma actividade que se desenvolve no edifício são designados por custos de exploração.
	Utilização	Os gastos com o edifício propriamente dito no sentido de o manter em serviço são os correspondentes aos custos diferidos de utilização.
	Financeiros	Geralmente, os custos financeiros têm repercussão em todo o processo do empreendimento, desde a fase de planeamento até à de utilização, o que não invalida que determinadas situações possam ser considerados uma responsabilidade de gestão.
	Fiscais	Às responsabilidades relacionadas com o registo, com a transacção e até mesmo com a utilização estão englobados nos custos fiscais.

Relativamente aos custos diferidos de manutenção, estes podem se apresentar segundo custos directos e os custos indirectos. Os custos directos são constituídos pelos encargos com a mão-de-obra, os materiais e os equipamentos. Os encargos de não manutenção, os meios para o planeamento e gestão, as indemnizações e as coimas compõem os custos indirectos.

De acordo com [FLORES, 2002] a questão que se levanta é saber se os gastos em manutenção estão próximos do ponto óptimo. Segundo o escrito por [CALEJO, 1989] existe três indicadores que podem transmitir informações relativas ao desenrolar os custos de manutenção, sendo estes:

- Valor óptimo do custo por ano;
- Evolução dos custos com a idade;
- Frequência de intervenção.

Como é natural, com o passar dos anos os custos de manutenção dos edifícios vão aumentando. Conforme é visível na figura 2.7, os esforços económicos anuais com a manutenção podem atingir em determinados casos, para edifícios com idades superior a 65 anos, 3,5% do valor de construção.

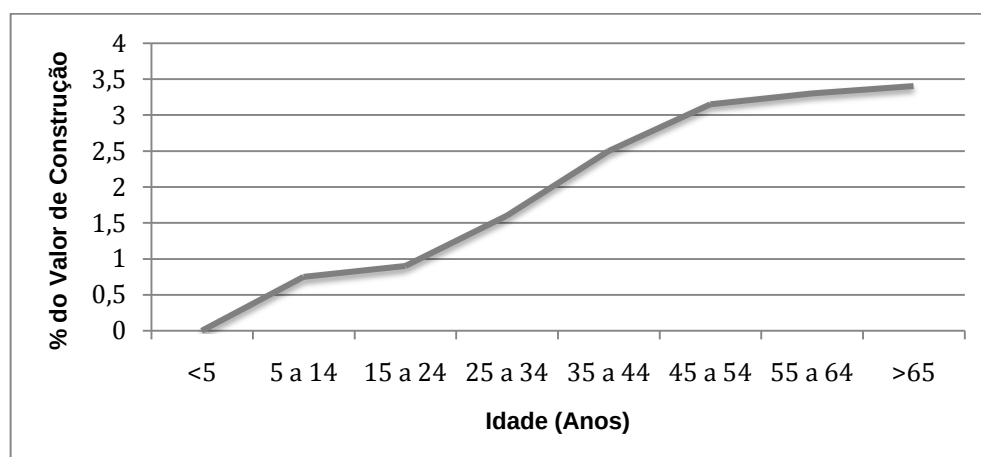


Fig.2.7 – Custo Anuais de Manutenção como % do custo da Construção tendo em conta a idade dos edifícios. (adaptado de [MARTEINSSON e JÓNSSON, 1999] citado por [FLORES, 2002])

2.5.2.3. Actividade Funcional

A actividade funcional centra-se na forma como os edifícios são usados, tomando consciência dos direitos e deveres dos utilizadores. Faz parte da actividade funcional a promoção da execução dos processos de gestão técnica. Segundo [CALEJO, 2001] a actividade funcional divide-se pelos seguintes processo:

- Regulamentação da Actividade;
- Economia de Utilização;
- Representação;
- Promoção da Gestão Técnica.

Concluindo, faz parte do âmbito da acção da actividade funcional a definição de regras de controlo da utilização dos edifícios, de forma a evitar problemas de desorganização e não colocar em causa o bom funcionamento dos edifícios.



Fig.2.8 – Relação entre as regras de funcionamento e a utilização

2.6. DESENVOLVIMENTO DO SECTOR DA MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS

2.6.1. ENQUADRAMENTO

A manutenção de edifícios é uma área de baixo estudo por parte das universidades, contudo recentemente as faculdades ligadas à arquitectura e à engenharia têm se debruçado para integrar as problemáticas da manutenção de edifícios nos seus planos de estudo. [ARDITI, 1997]

O sector da construção deve estar consciente da importância da manutenção. Tem-se revelado importante a integração de estudos e planeamentos da manutenção em fase de projecto. No momento

da concepção de um edifício é preponderante proceder à análise da qualidade dos equipamentos e dos materiais, e quais as suas formas de limpeza, inspecção e substituição.

É importante entender e perceber o que realmente é a Manutenção. Por vezes, muito por culpa da bibliografia actual confundem-se as actividades de Manutenção com a Reabilitação. Na realidade estes dois conceitos apresentam significados bem distintos. Segundo a Royal Institution of Chartered Surveyors, a Reabilitação é definida como *“reparação, renovação e modificação extensas de um edifício para o por de acordo com critérios económicos ou funcionais equivalentes aos exigidos a um edifício novo para o mesmo fim.”* [BCSD, 2004]

Em suma, a Reabilitação é a alteração para um estado superior ao que se verificaria se fosse aplicada a Manutenção. Para uma melhor compreensão propõe-se a linha de pensamento expressa na figura 2.9.

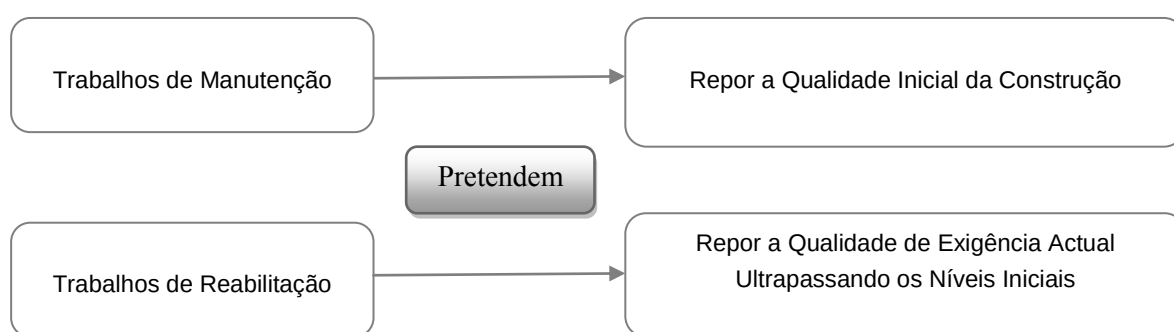


Fig.2.9 – Ordem dos trabalhos de Manutenção e Reabilitação

Na figura 2.10 é retratado a forma de degradação de um edifício, assim como os resultados das acções de Manutenção e Reabilitação.

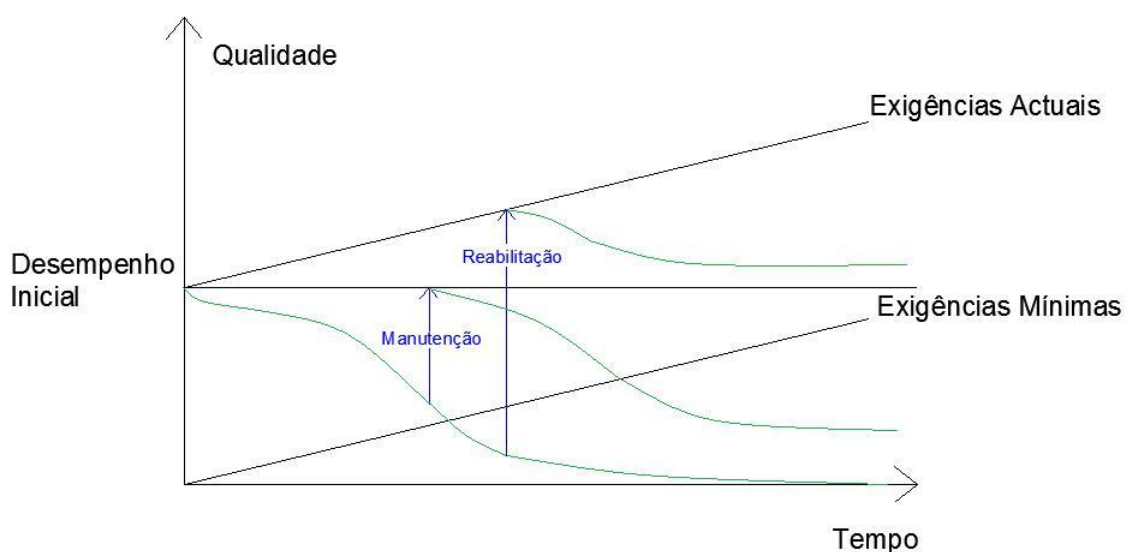


Fig.2.10 – Conceitos de intervenção no desempenho funcional de um edifício (Adaptado de [CALEJO, 2001])

É visível na figura que as actividades de Manutenção aumentam o desempenho do edifício até ao nível que este tinha quando foi construído. Com o passar do tempo as exigências inerentes aos edifícios são maiores, então faz parte da Reabilitação a elevação do nível de desempenho do edifício para um patamar superior ao que tinha quando foi construído.

2.6.2. TIPOS DE MANUTENÇÃO

As actividades de manutenção deveram ser implementadas num edifício segundo uma determinada estratégia. De acordo com o tipo de edifício e sua forma de utilização, o Plano de Manutenção deverá indicar as directrizes da estratégia de manutenção a implementar nesse mesmo edifício.

A manutenção pode ser classificada segundo a sua forma de actuação. Geralmente considera-se que as acções principais da manutenção são intervenção preventiva e a intervenção correctiva, conforme se verificam antes ou após a manifestação patológica ter lugar. [CALEJO, 1989]

As intervenções preventivas podem ser diferenciadas em Sistemáticas e Condicionadas. As acções Sistemáticas baseiam-se na actuação antecipada em situações que seja previsível o aparecimento de degradação, tendo como base nos dados de vida útil de elementos fonte de manutenção. Por sua vez, as acções Condicionadas, desdobram-se no tempo segundo uma calendarização pré-definida de inspecções de modo a observar o nível de desempenho de um elemento fonte de manutenção e dar respostas às situações onde seja previsível o desenvolvimento de anomalias.

As intervenções correctivas consistem na manutenção que é realizada após o aparecimento da patologia, podendo ser de carácter pontual ou urgente, com a finalidade de levar o elemento fonte de manutenção a um estado de forma que garanta as suas funções originais. Esta forma de manutenção acarreta custos mais elevados e em determinadas situações pode levar a escolhas de técnicas e materiais desadequados na resolução da anomalia.

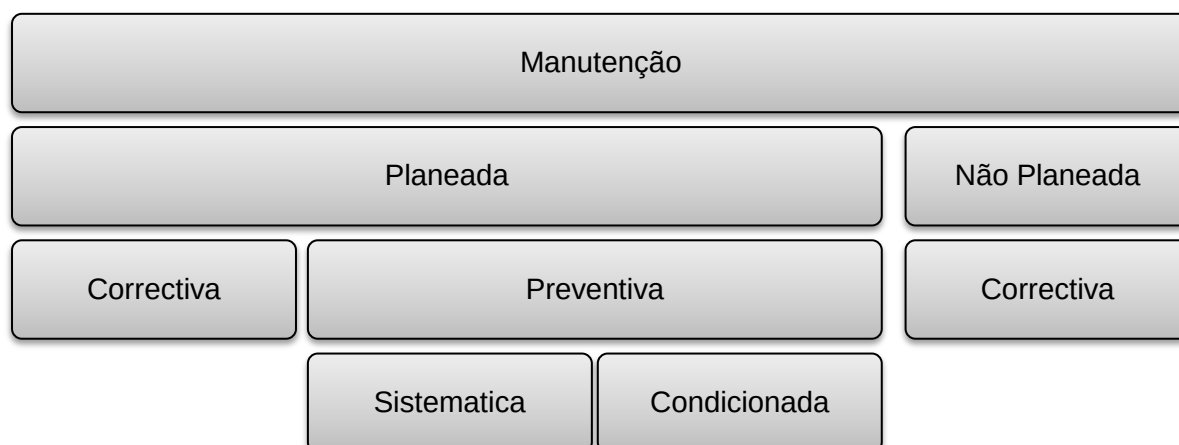


Fig.2.11 – Tipos de Manutenção (Adaptado de [CALEJO, 2008])

2.6.2.1. Manutenção Preventiva

De acordo com o que foi referido no ponto anterior e em correspondência com a figura 2.11, a manutenção preventiva pode ser realizada segundo duas formas de intervenção, a Sistemática e a Condicionada, apresentando um carácter pró-activo, ou seja, a forma de actuação dá-se antes do aparecimento das anomalias.

Tendo como finalidade a obtenção de bons resultados de manutenção, as acções preventivas devem ser pensadas na fase de projecto, através da elaboração do Plano de Manutenção. Para o desenrolar de uma boa manutenção é fundamental conhecer o comportamento e a vida útil expectável em condições de serviço dos elementos fonte de manutenção.

Segundo [VASCONCELOS, 2005] a Inspecção, o Controlo, a Visita e os Teste, são operações inerentes a este tipo de manutenção. No quadro 2.3 expressa-se em pormenor as definições de cada operação.

Quadro 2.3 – Operações da Manutenção Preventiva. (Adaptado de [VASCONCELOS, 2005])

Manutenção Preventiva	Inspecção	<i>Actividade de vigilância exercida no quadro de uma missão definida. Não fica obrigatoriamente restringida à comparação com dados previamente estabelecidos. No seio da manutenção, esta actividade pode ser realizada, por exemplo, através do recurso a rondas</i>
	Controlo	<i>Verificação da conformidade com dados pré-estabelecidos, seguido de um julgamento ou tomada de decisão. O controlo pode incluir: Uma actividade de informação; Uma decisão, aceitação, rejeição, adiamento; Despoletar acções correctivas.</i>
	Visita	<i>Operação de manutenção preventiva consistindo num exame detalhado e pré determinado do todo (visita geral) ou de parte (visita limitada) dos diferentes elementos do bem, podendo implicar operações de manutenção do 1º nível.</i>
	Teste	<i>Operação que permite comparar a resposta do sistema a uma solicitação apropriada e definida, com a de um sistema de referência ou com um fenómeno físico indicador de um funcionamento correcto.</i>

2.6.2.1.1 Manutenção Sistemática

A manutenção sistemática rege-se pela realização das operações de manutenção com intervalos de tempo definidos, com base num planeamento efectuado em fase de projecto. Segundo [CALEJO, 1989] a prática deste tipo de manutenção assenta em três acções fundamentais:

- Controlo
- Ajuste
- Substituição

Estas acções são aplicadas através de rotinas periódicas de verificação, incidindo nos elementos em que se prevê estarem em fase de pré-patologia. [CALEJO, 1989].

2.6.1.1.2 Manutenção Condicionada

Tendo em conta as dificuldades de implementação de uma estratégia de manutenção sistemática e perante a necessidade de introduzir acções de carácter preventivo, utiliza-se geralmente a manutenção condicionada ou predictiva. Este tipo de manutenção consiste na execução de actividades de manutenção, em função da análise do estado dos diversos elementos, planeando as inspecções e não as actividades a executar. A execução destas inspecções pressupõe a existência de pessoal envolvido,

com formação específica e capacidade técnica para a recolha e tratamento de informação, com vista o fornecimento de *inptus* para uma actuação adequada.

Em fase de projecto, no planeamento das inspecções deverão ser identificados os elementos a inspecionar, as actividades de inspecção, a sua duração prevista e periodicidade, em função da durabilidade média dos variados elementos.

A estratégia da manutenção condicionada durante a inspecção do estado do elemento rege-se na análise de parâmetros funcionais dos diversos elementos do edifício, face a sintomas de anomalias e de pré-patologia. [FLORES *et al*, 2002]

2.6.2.2. Manutenção Correctiva

A manutenção correctiva, também designada por outros autores de reactiva, corresponde ao procedimento de manutenção mais elementar. Este tipo de manutenção consiste em deixar desenvolver o mecanismo de degradação do elemento e somente depois intervir na reparação das suas anomalias.

Dadas as suas características, esta forma de abordar a manutenção introduz custos acrescidos ao empreendimento, ainda que a curto prazo pareça menos onerosa. A forma de minimização destes custos passa pela implementação de procedimentos técnicos, aplicando-se fichas de diagnóstico de forma a obter resposta de solução para as anomalias. [FLORES *et al*, 2002]

As intervenções correctivas embora numa primeira análise pareçam uma solução favorável acarretam variadas dificuldades, sendo as seguintes realçadas por [FLORES *et al*, 2002]:

- *Os meios geralmente disponibilizados não são suficientes para responder às solicitações, em tempo útil, havendo necessidade de recorrer a empresas de outsourcing, com o correspondente acréscimo de custos não previstos.*
- *Em consequência de situações não planeadas, existe dificuldades em intervir perante mais do que uma intervenção com carácter urgente.*
- *Verifica-se dificuldade ou incapacidade em compatibilizar as intervenções com os meios disponíveis, tornando-se necessário recorrer a trabalhos em horas extraordinárias, com inevitáveis sobrecustos.*
- *Tratando-se de intervenções onerosas, só despoletadas na sequência de reclamações dos utentes, a ausência de denúncia conduz à progressiva degradação de elementos, não perceptível aos olhos do vulgar cidadão, o que pode ser vital na degradação e encurtamento do tempo de vida útil do edifício.*
- *Em situações particulares, em que os utentes sobrevalorizam o conforto interior das casas, em detrimento dos aspectos da conservação da envolvente, verifica-se a ausência de reclamações e, consequentemente, de intervenções.*

2.6.3. OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO

A manutenção de edifícios é realizada através da realização de operações e metodologias da manutenção, com a finalidade de conferir ao edifício e aos seus elementos um nível de desempenho

satisfatório durante o seu período de vida útil. Como foi referido anteriormente existe uma panóplia de estratégias de manutenção, porém todas elas assentam nas mesmas operações de manutenção.

Segundo [CALEJO, 2008] os principais procedimentos de manutenção são cinco, sendo:

Quadro 2.4 – Operações da Manutenção. (Adaptado de [CALEJO, 2008])

Inspeccionar
Limpar
Pró - Activar
Corrigir
Substituir

O acto de **inspeccionar** advém da necessidade de uma avaliação do estado dos componentes dos edifícios, possibilitando a tomada de decisões relativas às medidas de manutenção a aplicar a esses edifícios. A inspecção é a primeira etapa na detecção de anomalias, contudo é também através de metodologias de inspecção que se realiza o controlo e supervisão das mesmas anomalias.

A periodicidade, a forma como se desenvolvem as inspecções e os equipamentos necessários devem ser previamente estipulados e preconizados no manual de serviço. É de todo relevante definir-se o nível de inspecção a que cada elemento fonte de manutenção devera estar sujeito, de acordo com a sua importância e custo associado à sua inspecção.

Os actos de **limpeza**, embora subestimados e muitas vezes negligenciados, são de extrema importância nas acções de manutenção preventiva de edifícios, pois protegem estes de possíveis anomalias, nomeadamente as que podem advir da acumulação de sujidade ou agentes microbiológicos, levando assim o nível de desempenho dos edifícios para um patamar mais elevado.

As acções de limpeza podem ser classificadas em limpeza e higienização, correspondente à limpeza diária, ou limpeza técnica se for o caso de uma limpeza mais profunda com recursos a técnicas e meios mais específicos. Por vezes, devido à escassez de informação relativa ao modo de desenvolver as actividades de manutenção os utilizadores guiam-se por meios manutenção desadequados, economicamente mais expressivos e de árdua execução.

As **medidas pró-activas** de manutenção são desenvolvidas com a finalidade de conferir as propriedades necessárias para que determinado elemento de um edifício se apresente num nível bom de funcionamento. Estas medidas consistem na implementação de acções de manutenção antes do aparecimento de anomalias.

É exemplo de uma medida pró-activa a aplicação de óleo em dobradiças evitando que estas condicionem o movimento das respectivas janelas ou portas.

Em situação de pré-patologia e/ou anomalia é através das **medidas correctivas** que se desenvolvem um conjunto de procedimentos que procuram a restituição da performance inicial, sem que para isso seja necessário recorrer a substituição total do elemento. [LOPES, 2005]

Com as medidas correctivas procura-se a anulação do fenómeno que está na origem da patologia, desenvolvendo esforço para evitar o seu reaparecimento.

A **substituição** é uma metodologia da manutenção reactiva regendo-se segundo duas formas de actuação. Sendo assim pode ocorrer substituição quando o elemento fonte de manutenção já não apresente capacidades mínimas para desempenhar a sua função e o recurso às medidas de correcção já não se apresenta viável, ou em situações em que o elemento fonte de manutenção atinge o fim da sua vida útil.

Torna-se relevante a escolha de materiais e componentes duráveis na fase de projecto, de modo a minimizar as necessidades de substituição ao longo da vida do edifício. Tal como isto é importante, também se torna evidente a adopção de soluções construtivas que não condicionem as operações de substituição.

A lógica correcta de encadeamento dos procedimentos de Manutenção permite uma redução significativa nos custos diferidos ao longo da fase de exploração. É notório que o adiamento na implementação das medidas de manutenção se vai retratar em aumentos progressivos dos custos das intervenções. A intervenção em fase de Projecto é defendida pela Lei de Sitter, avaliando a melhor solução e reduzindo o recurso a intervenções de Manutenção Preventiva e Correctiva.

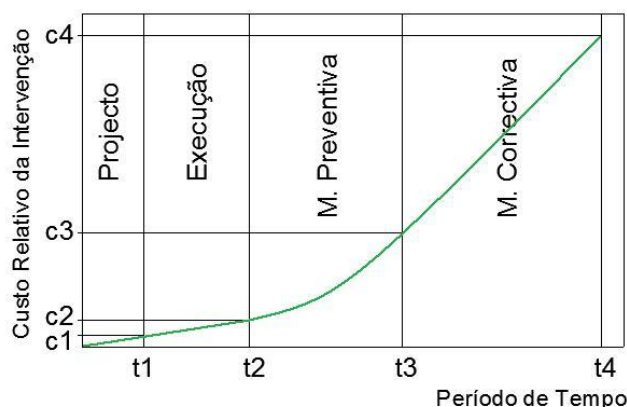


Fig.2.12 – Lei de Sitter

Visto isto e de acordo como o referido anteriormente é primordial que a Manutenção seja iniciada em fase de projecto. Quanto mais cedo forem traçadas linhas de actuação da Manutenção mais benefícios se iram verificar na fase de utilização.

2.7. ELEMENTOS FONTE DE MANUTENÇÃO

2.7.1. ENQUADRAMENTO

Na temática da manutenção considera-se o edifício como um conjunto alargado de elementos, facilitando a divisão e caracterização do edifício segundo uma forma lógica e coerente. Estes elementos distintos associados entre si formando um todo, isto é o edifício.

A estes elementos chama-se elementos fonte de manutenção, EFM. Cada EFM possui características próprias, reagindo às acções actuates e apresentando processos de degradação característicos e distintos ao longo da vida útil do edifício. Assim sendo, a cada EFM devem corresponder as medidas de manutenção mais adequadas.

No quadro 2.5 é apresentada uma divisão dos distintos EFM segundo três níveis de especificação.

Quadro 2.5 – Elementos Fonte Manutenção. [adaptado de CALEJO, 2001]

Elementos Fonte Manutenção		
Nível 1	Nível 2	Nível 3
Elementos Edificados	Estrutura	Fundações
		Elementos Verticais
		Elementos Horizontais
	Panos de Parede	Exteriores
		Interiores
	Cobertura	Acessível
		Não acessível
Acabamentos	Revestimentos Horizontais	Tectos
		Pavimentos
	Revestimentos Verticais	Exteriores
		Interiores
	Vãos Exteriores	Portas
		Janelas
	Vãos Interiores	Portas
Instalações	Abastecimento de Águas	Rede
		Louças e Comandos
	Esgotos	Rede
	Electricidade	Rede
		Aparelhos
Outros	Outros	Ventilação
		Equipamentos
		Juntas
		Outros

2.7.2. A VIDA ÚTIL DOS ELEMENTOS FONTE DE MANUTENÇÃO

A vida útil dos elementos constituintes de um edifício é definida pela ASTM E632 como o período de tempo, após entrada em serviço, durante o qual todas as características dos elementos excederam os valores mínimos aceitáveis, assumindo a existência de uma manutenção rotineira. [FLORES, 2002]

No momento em que um determinado elemento em estado de degradação atravessa a barreira do tolerável, diz-se que atingiu o seu fim de vida útil. A estes elementos é impossível através das

operações de Manutenção conduzi-los aos seus estados normais, pois nestes casos de intervenções mais intensas é conveniente o enquadramento das técnicas de Reabilitação.

Actualmente existem métodos de determinação do ciclo de vida dos elementos constituintes dos edifícios, contudo estes apresentem ainda níveis de incerteza consideráveis. Ao estudo da durabilidade de um determinado componente/elemento está inerente a existência de uma probabilidade de falha. Esta probabilidade pode ser analisada graficamente, figura 2.13, onde se representam as fases do ciclo em que esta se evidencia com maior probabilidade de acontecimento.

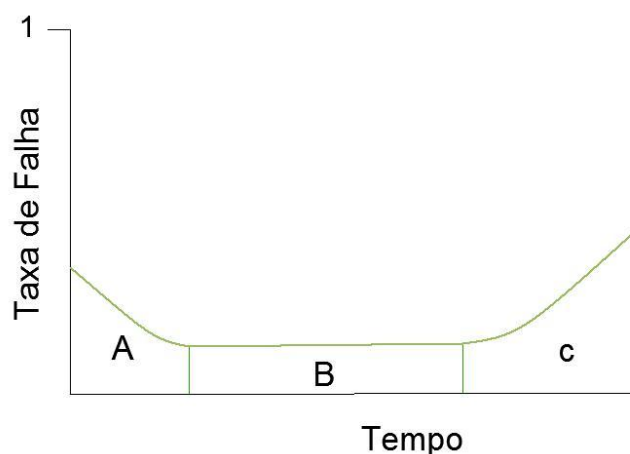


Fig.2.13 – Curva representativa do ciclo de vida de um elemento

A curva representada na figura 2.13 apresenta-se segundo uma forma de “banheira” e possui três troços distintos, indicando cada um destes as diferentes características comportamentais dos elementos.

Quadro 2.6 – Partes do comportamento de degradação.

A Juventude do Elemento	É evidente um decréscimo da densidade de ocorrência ao longo do tempo. Taxa de Falha associada aos erros projectais ou processo construtivo.
B Modo Constante	Taxa de Falha constante ao longo do Tempo. As falhas estão inerentes a factores aleatórios, como por exemplo choques e demais acidentes.
C Fim da Vida Útil	A Taxa de Falha aumenta segundo uma lei exponencial, ficando este aumento a dever-se a factores de degradação relacionados com o uso corrente, o ambiente atmosférico ou o envelhecimento natural do elemento.

Como ficou demonstrado, com este método é impossível determinar ao certo qual o valor do tempo de vida útil de um elemento. Para fazer face a esta questão e para uma melhor e coerente caracterização dos dados foram adoptados intervalos referência em vez de um valor fixo.

De acordo com [SILVA, 2009] o fim da vida útil é influenciado por critérios de segurança, funcionalidade e aparência. A segurança é um critério fundamental, apresentando naturalmente uma exigência superior aos restantes. Contudo, em muitas situações, o final da vida útil é condicionado apenas por critérios de aparência estética, como é possível verificar na figura 2.14.

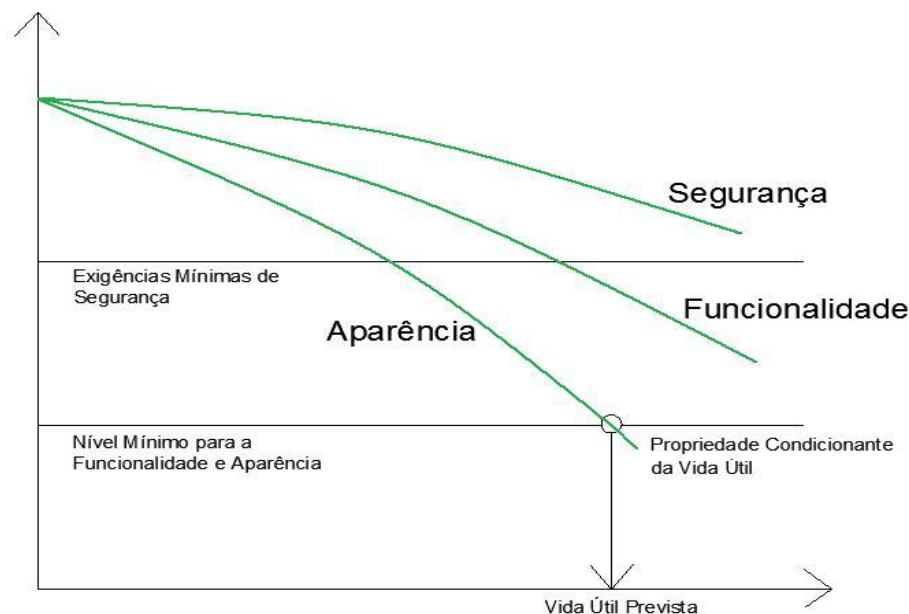


Fig.2.14 – Degradação do desempenho. (adaptado de Moser, 1999 citado por [SILVA, 2009])

O limite de vida útil, como já referido é de difícil definição e depende fundamentalmente da exigência de cada utilizador. Por exemplo, nos edifícios arrendados o limite mínimo de qualidade exigido pelos inquilinos é, na maioria das vezes, muito superior ao dos proprietários, devido fundamentalmente a factores de grandeza económica.

2.8. MANUAIS DE SERVIÇO

Os utentes dos edifícios por vezes não são capazes de utilizar e usufruir correctamente os seus imóveis, resultando daí os elevados custos de utilização e manutenção dos mesmos. Tendo em vista um aumento de vida útil e um decréscimo de custos diferidos do património edificado, torna-se preponderante a elaboração de manuais que auxiliem o utilizador a usufruir correctamente do seu edifício.

Surgem então os manuais de manutenção e utilização de edifícios. Estes documentos procuram detalhar as características do edifício e recomendar as instruções de utilização e manutenção para cada EFM. Em suma, estes manuais técnicos recolhem todos os elementos do edifício e indicam a utilização e as operações a realizar para cada elemento.

2.8.1. MANUAL DE MANUTENÇÃO

O manual de manutenção é elaborado na fase de projecto e serve de apoio ao gestor do edifício durante a fase de utilização. Fazem parte do âmbito deste documento as estratégias de manutenção e

reparação destinadas ao edifício em questão. A programação, calendarização, e registo das acções de manutenção deveram estar bem assinaladas no manual de manutenção.

O plano de manutenção deve ser parte integrante do manual de manutenção, e descrever de forma clara as acções de manutenção mais prováveis, como por exemplo a indicação de directrizes diferentes inspecções de avaliação do comportamento do edifício e componentes.

Segundo [CALEJO, 2001] um plano de manutenção rege-se de acordo com a natureza da informação disponível e com as políticas a aplicar. Seguindo a linha de pensamento do mesmo autor, pode-se considerar que a estrutura de um plano de manutenção deveria conter os seguintes factores:

- Estabelecer um ritmo de rotinas de inspecção de acordo com informação do fabricante ou com um plano pré-estabelecido:
 - Definir locais e EFM a inspeccionar;
 - Definir ciclicidade das operações.
- Utilizar as informações de desempenho (via inspecção, utentes ou limpeza) para estabelecer uma estratégia de actuação:
 - Actuação imediata;
 - Aguardar até se verificar agravamento maior;
 - Aguardar até existirem mais situações semelhantes.
- Apresentar-se sobre a forma de gráfico de barras (tempo, tarefa).

2.8.2. MANUAL DE UTILIZAÇÃO

Para uma boa utilização dos edifícios por parte dos seus utentes, torna-se fundamental a existência de informação e/ou formação. Com o desenrolar dos anos e com a natural evolução da complexidade dos edifícios revela-se fundamental formar para a utilização dos edifícios, pois muitos dos seus componentes deixaram de apresentar regras e formas de funcionamento meramente intuitivas.

O manual do utilizador é um apoio eficaz nas medidas organizativas e informativas de como se deve desenrolar a manutenção, inspecção e limpeza dos diversos componentes do edifício, possibilitando a optimização das funcionalidades deste. Com o apoio deste manual, o utilizador sente-se mais seguro no uso das potencialidades do edifício e permite uma redução dos erros inerentes às operações de manutenção na fase de utilização.

Na figura 2.15 está esquematizada a organização do manual de serviço aplicado aos edifícios.

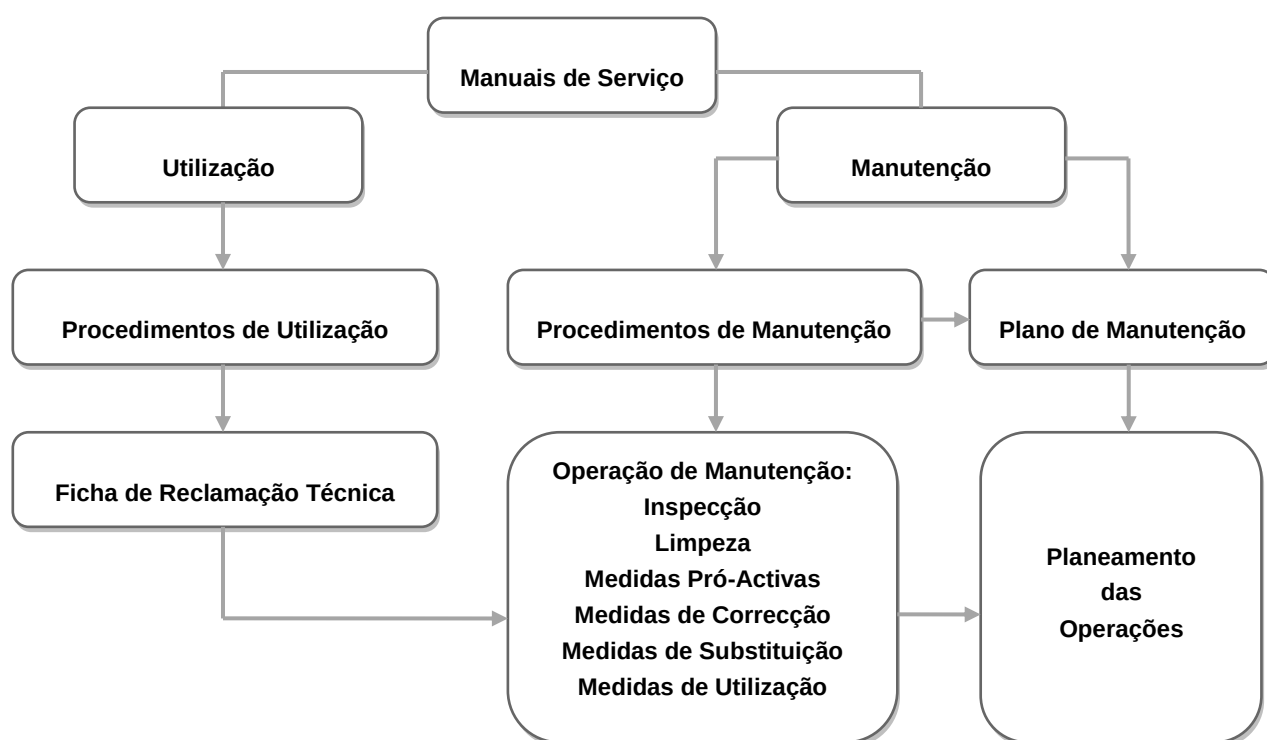


Fig.2.15 – Organização dos manuais de serviço. (Adaptado de [LOPES, 2005])

No caso de obras novas os manuais de serviço deverão ser realizados em fase de projecto, ou na fase de utilização baseado no estado de desempenho, em situações de edifícios existentes. Em ambas as situações referidas o manual poderá ser actualizado ao longo da vida útil do edifício. [LOPES, 2005]

2.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS DE CAPÍTULO

A Manutenção deve ser encarada como parte integrante da Actividade Técnica da Gestão dos Edifícios, revelando-se os seus métodos e operações preponderantes na conservação e obtenção de um bom desempenho funcional dos imóveis.

As operações de Manutenção apresentam uma relação de forte interdependência, iniciando-se na Inspeção e terminando na Substituição, todas estas deverão ser coordenadas entre si de forma a ir de encontro às necessidades dos elementos e componentes do edifício. Assim sendo, uma determinada actividade de Manutenção está dependente do conhecimento das necessidades dos elementos e da forma de aplicação das operações de Manutenção.

Ao contrário do que acontece na maioria das situações, a Manutenção de edifícios deverá ser pensada logo em fase de projecto, onde se deverá elaborar um manual que especifique o fim para o qual o edifício foi construído e o tipo de materiais que o constituem.

Revela-se de extrema importância, a consciencialização das medidas inerentes à Manutenção por parte de todos os intervenientes envolvidos na construção de um empreendimento, fazendo com que as opções de Manutenção tomadas em fase de Projecto sejam respeitadas na fase Construção e Utilização.

3

MODELO DE SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO

3.1. INTRODUÇÃO

Um edifício deverá ao longo da sua vida útil satisfazer as necessidades dos seus utilizadores, realizando as funções inicialmente previstas e proporcionando conforto aos seus ocupantes. De forma a verificar a viabilidade de utilização de determinados elementos e componentes para a construção de um edifício, podem ser usadas simulações de computador para analisar o seu comportamento ao longo da sua vida útil.

As simulações comportamentais revelam-se de grande importância na análise de resultados e no auxílio da escolha de elementos com maior viabilidade e que melhor se ajustem ao tipo de utilização do edifício.

O modelo de simulação considerado baseia-se no carácter cíclico das necessidades de intervenção em cada elemento, de forma a garantir as suas repostas funcionais, tendo a particularidade de considerar na simulação a incerteza associada aos dados de base.

Recorre-se ao método de Monte Carlo para tratamento da incerteza em termos probabilísticos. O modelo foi desenvolvido em ambiente de cálculo automático e com o objectivo de auxiliar a sua utilização foi utilizada uma rotina, denominada por SIMULA.

3.2. MODELAÇÃO DO COMPORTAMENTO

3.2.1. ENQUADRAMENTO

A simulação do desempenho técnico e funcional de um edifício ao longo do seu período útil de vida faz parte do âmbito da modelação comportamental dos edifícios.

A modelação do comportamento de um determinado edifício pode ser realizada com base no conhecimento do comportamento individual de um dado EFM desse mesmo edifício. Contudo, outra forma de caracterização comportamental de um edifício pode ser realizada através da descrição pormenorizada da incidência de manifestações patológicas.

O comportamento dos EFM desenvolvem-se geralmente de forma cíclica, contudo podem-se verificar situações em que o comportamento cíclico de determinados EFM é condicionado por diversos factores. Nestes casos a modelação do comportamento torna-se mais complexa.

3.2.2. SIMULAÇÃO TÉCNICA

A simulação técnica surge na necessidade de prever as actividades de gestão técnica inerentes à manutenção de edifícios.

As operações de manutenção estão associadas a três distintos tipos de tarefas, sendo estas as rotinas de inspecção, as intervenções de reparação e as intervenções de substituição.

Devido às suas características, as rotinas de inspecção geralmente não levantam muitas dúvidas na sua simulação. Por sua vez, para previsão das intervenções de reparação e substituição é indispensável a realização de simulações técnicas ao nível da manutenção de um edifício. Os intervalos de tempo entre os quais se processam este tipo de operações são dependentes do conhecimento dos modos de falha e da incerteza que lhes está inerente.

3.2.3. SIMULAÇÃO ECONÓMICA

A simulação económica surge na necessidade de estimar os encargos económicos associados às diversas intervenções da manutenção. Recorre-se geralmente ao histograma de dispersão de custos de cada intervenção, para dessa forma simular o seu custo.

A variabilidade de preços leva à formação de incerteza associada ao custo de uma intervenção, assumindo esta geralmente a forma de uma curva de Gauss. [CALEJO, 2001]

3.2.4. O MÉTODO PROBABILÍSTICO

É de fácil compreensão que os dados da localização temporal de uma falha e do custo associado a cada intervenção acarretam naturalmente elevada dispersão. Assim sendo, torna-se recorrente a utilização de métodos estocásticos de simulação para tratamento da dispersão e controlo da incerteza a ela associada.

Utiliza-se o método de Monte Carlo na simulação comportamental de edifícios, pois com este método e conhecendo a incerteza dos dados iniciais torna-se possível simular no tempo o desenvolvimento da função probabilidade, sabendo de ante mão que as intervenções em cada EFM e os seus custos são variáveis aleatórias que se regem por uma função de probabilidade.

É através do histograma de densidade de probabilidade que é determinada a dispersão resultantes da adição de acontecimentos. Estes histogramas transmitem informação relativa à probabilidade de substituição, isto é o fim da vida útil de um EFM e à probabilidade de reparação.

Os diagramas de base podem ser realizados segundo diferentes processos, sendo os mais comuns a observação da realidade, por estimativa de peritos na área da manutenção ou por valores determinísticos. [CALEJO, 2001]

3.2.5. CONSTITUIÇÃO DO MODELO

Segundo [CALEJO, 2001] o modelo de simulação é composto por duas fases bem distintas. A primeira fase é destinada ao estabelecimento dos histogramas de densidade de probabilidade para substituição e reparação de cada EFM, enquanto na segunda fase se desenvolve a simulação no tempo do número de substituições e do número de intervenções a que um dado EFM está sujeito.

No quadro 3.1 apresentam-se as características inerentes à fase de carga dos histogramas.

Quadro 3.1 – Carga dos Histogramas (adaptado de [CALEJO, 2001])

Intervenção de Reparação	É fornecido o histograma de probabilidade de intervenção baseado em taxas anuais e a curva de distribuição do custo a cada EFM.
Substituição	O histograma de densidade de probabilidade que contém as taxas anuais de probabilidade de ser substituído é associado a cada EFM. É também fornecida a curva de distribuição do custo de substituição.

Relativamente à simulação pode-se dizer que esta é realizada através de um processo numérico que discretiza por período de tempo cada um dos histogramas e a partir dessa discretização, vai realizando os passos descritos no quando 3.2.

Quadro 3.2 – Passos da fase de Simulação. (adaptado de [CALEJO, 2001])

1º Passo	É escolhida de forma aleatória para cada histograma de densidade de probabilidade uma duração compreendida entre o valor mínimo e máximo do histograma. Na realidade esta escolha não é aleatória, mas sim pesada pela densidade de probabilidade inerente a cada intervalo de tempo.
2º Passo	É atribuída à primeira data de intervenção um custo seleccionado de uma forma aleatória idêntica ao do 1º passo, mas desta vez incidindo sobre o respectivo histograma de densidade de custo.
3º Passo	Repete-se o 1º passo com a adição do valor obtido no 1º passo, determinando assim a segunda data de intervenção. Novamente é valorizada a intervenção segundo um processo igual ao descrito no 2º passo.
4º Passo	Procede-se a repetição do 1º, 2º e 3º passo de forma a atingir o ano horizonte de estudo. Nesse ponto ante de retomar ao 1º passo define-se o custo total.
5º Passo	Procede-se à repetição dos passos anteriores de forma a atingir uma representatividade estatística do custo total assim obtido e em simultâneo construímos uma curva de densidade de probabilidade de intervenção para a vida útil de um EFM. Esta representatividade pode ser atingida por comparação com a curva anterior calculando um descriptor de incerteza entre ambas, sendo que o processo tem representatividade quando o descriptor tiver um valor menor que 1% da curva anterior.

3.3.BASES GERAIS DO MÉTODO DE CÁLCULO DO PROCESSO SIMULA

3.3.1. GENERALIDADES

O programa de simulação “SIMULA” foi desenvolvido tendo por base um modelo matemático, que de modo a chegar a um resultado final, trabalha na teoria da probabilidade e na incerteza dos dados de cada EFM. Este método designado por Método de Monte Carlo trabalha com variáveis aleatórias, isto são variáveis das quais não conhecemos o valor exacto mas sabemos o intervalo de valores a que estão restringidas.

3.3.2.MÉTODO DE MONTE CARLO

O método de Monte Carlo é uma expressão muito geral, onde a forma de actuação incide no uso de números aleatórios e na simulação estatística de probabilidade de forma a desenvolver simulações. Este método pode ser usado em diversas vertentes do saber que englobem tomadas de decisão sujeitas a incertezas, como a física, a química e a economia, neste caso concreto o SIMULA usa o método de Monte Carlo aplicado à Manutenção de Edifícios.

O método foi desenvolvido em 1944 sendo usado como auxiliar na pesquisa do desenvolvimento da bomba atómica durante a Segunda Guerra Mundial, ficando o seu nome a dever-se à famosa roleta de Monte Carlo, no Principado do Mónaco. Contudo, somente em 1949 o Método de Monte Carlo foi formalizado por meio de um artigo intitulado “*Monte Carlo Method*” publicado por John Von Neumann e Stanislav Ulam. ([SOBOL, 1994] citado por [FIGUEIREDO *et al*])

No passado o uso deste método foi fortemente condicionado pela necessidade de programação e de equipamento computacional. No entanto, nos dias correntes devido ao grande avanço dos computadores e desenvolvimentos de softwares informáticos específicos o método de Monte Carlo tem se tornado mais acessível aos utilizadores, facilitando a tomada de determinadas decisões. Na verdade, o seu campo de aplicação tem-se expandido a cada nova geração de computadores.

Entende-se por método de simulação qualquer processo analítico que procura imitar um sistema real, nomeadamente quando outras análises envolvem grande complexidade matemática ou apresentam grande dificuldade de reprodução. Um modelo de programação informática que não recorra à simulação apresenta apenas um resultado único, que geralmente retrata o cenário médio ou o mais provável.

De acordo com ([SOBOL, 1994] citado por [FIGUEIREDO *et al*]) o uso do Método de Monte Carlo faz com que o processo físico seja simulado directamente, não sendo necessário a escrita de equações diferenciais que mostrem o comportamento do sistema. Sendo apenas exigido a escrita do sistema físico ou matemático em termos de funções de densidade de probabilidade, para que a simulação de Monte Carlo se possa realizar a partir destas. Para cada valor gerado aleatoriamente, gera-se por intermédio da função densidade de probabilidade, um valor correspondente, sendo este processo repetido inúmeras vezes e o resultado desejado é obtido por uma média e desvio padrão sobre um determinado número de observações.

A figura 3.1 retrata a ideia base do Método de Monte Carlo. Tendo em consideração que o comportamento do sistema possa ser descrito por uma função de densidade de probabilidade, o método de Monte Carlo procede à amostragem a partir desta função, utilizando um meio bastante eficiente e célere de gerar números aleatórios entre 0 e 1.

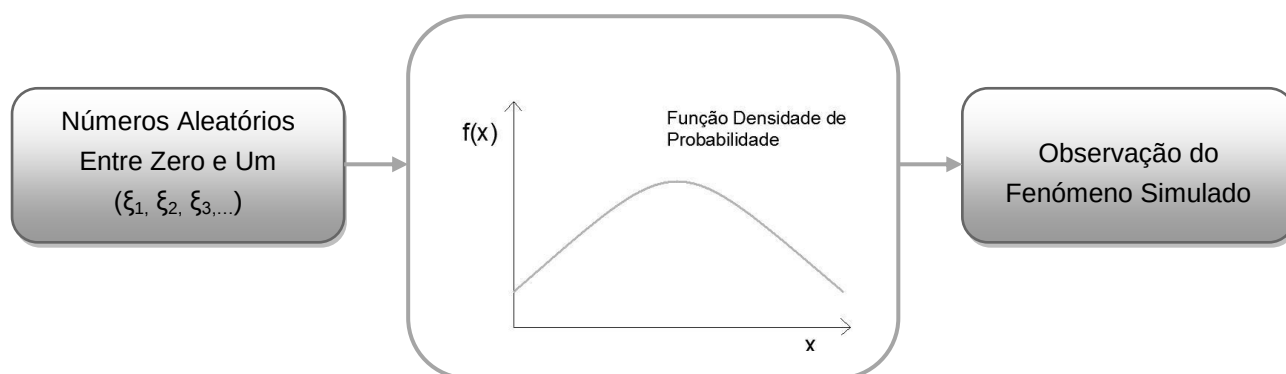


Fig.3.1 – Simulação Monte Carlo de um sistema genérico. (Adaptado de [SOBOL, 1994] citado por [FIGUEIREDO *et al*])

3.3.2.1. Fases da simulação Monte Carlo

A análise da incerteza utilizando a simulação Monte Carlo pode ser dividida segundo os passos apresentados no quadro 3.3, sendo estes:

Quadro 3.3 – Fases da Simulação de Monte Carlo

Desenvolvimento do Modelo	Modelação do problema e suas características num programa electrónico, no qual se estabelece a relação entre as variáveis do modelo.
Identificação da Incerteza e/ou Risco	Identificação das variáveis que exercem significativa importância no resultado do modelo. Torna-se necessário o estudo de cada uma dessas variáveis para que se define a distribuição de probabilidade que melhor se ajuste aquela serie de dados. Este procedimento repete-se para cada uma variável de risco do modelo, sendo estas denominadas de variáveis de entrada do modelo de simulação.
Identificação da(s) Variável(eis) de Análise	Identificação das variáveis de estudo ou índices de desempenho cujo comportamentos serão alvo de análise. Estas são denominadas por variáveis de saída ou análise.
Gerar a Simulação	Execução do modelo N vezes, de forma a gerar uma serie de valores para a variável de análise.
Análise do Modelo Simulado	Obtenção da distribuição de frequência e distribuição de frequência acumulada para as variáveis de análise ou saída.
Tomada de Decisão	Com apoio nas informações obtidas e em conjunto com outros factores relevantes, procede-se à tomada de decisão.

3.3.2.2. Gerador de Números Aleatórios

Os números aleatórios apresentam papel relevante no método de Monte Carlo, portanto qualquer programa informático baseado neste método requer um gerador de números aleatórios.

Os geradores de números aleatórios são baseados em algoritmos matemáticos, que produzem números cujas ocorrências obedecem a uma aleatoriedade, e que simulam a real aleatoriedade verificada na natureza. Os números gerados por estes algoritmos são normalmente denominados por números pseudo-aleatórios. Um conjunto de números definidos dentro de um intervalo constituem uma sequência de números aleatórios se estes estiverem uniformemente distribuídos nesse intervalo e se nenhuma correlação existir dentro dessa sequência.

Entre os métodos mais usados para geração de números aleatórios pode-se citar o método linear congruencial, o método misto e o método congruencial multiplicativo.

3.3.2.3. Método de Monte Carlo Aplicado aos Edifícios

Relativamente aos edifícios a questão que se coloca é saber a fiabilidade que este possui, tendo por base a fiabilidade dos seus componentes e elementos, não esquecendo a estimativa da vida útil e previsão de falhas associadas.

Como referido anteriormente, o método de Monte Carlo apresenta-se como um método numérico que funciona por ciclos. No estudo dos edifícios, o método desenvolve-se através da escolha aleatória, para cada elemento, de um valor com determinada densidade probabilidade de ocorrência. Com o evoluir dos ciclos os valores com probabilidade mais elevada vão-se destacando aos outros de menor valor. No final de N ciclos a probabilidade de cada valor acontecer é igual.

O desempenho de um edifício pode ser determinado através do uso do método Monte Carlo, mas para isso torna-se fulcral ter conhecimento das distribuições de probabilidades de cada EFM e a forma segundo qual cada EFM condiciona o edifício.

Segundo [CALEJO, 2001] para aplicação do Método de Monte Carlo torna-se necessário seguir as etapas descritas no quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Etapas da Aplicação do Método de Monte Carlo aos Edifícios [adaptado de CALEJO, 2001]

1ª Etapa	Determinação do valor do custo e/ou duração de cada Elemento Fonte Manutenção.
2ª Etapa	Calcular o valor da $f(\text{EFM})$ $G_i = f(\text{EFM}) = \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^A p(\text{EFM}_{ij}) \quad (1.1)$ Sendo que: G_i – Função de Variáveis aleatórias $p(\text{EFM}_{ij})$ – Vida útil de Cada Elemento Fonte de Manutenção A – Ano Horizonte R – Numero de Elementos Fonte de Manutenção

3ª Etapa

Repetição do Processo N vezes de forma a obter diferentes valores aleatórios, $G_1, G_2, \dots, G_n$.

$$MG = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N G_j \quad (1.2)$$

Sendo que:

MG – Media

$$VG = \frac{1}{N-1} \left(\sum_{j=1}^N G_j^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{j=1}^N G_j \right)^2 \right) \quad (1.3)$$

Em que:

VG – Variância

3.3.3.ALGORITMO DO SIMULA

3.3.3.1. Variáveis Principais do Programa

As variáveis usadas no SIMULA associam-se em quatro grupos, sendo estas as variáveis de simulação, as de caracterização de cada EFM, as de armazenamento dos EFM e as do algoritmo do programa.

As variáveis de simulação correspondem aos dados iniciais do programa e estão representadas no quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Variáveis usadas para a simulação [adaptado de CALEJO, 2001]

Variável	Significado
NumElementos	Número de Elementos da Iteração
NumAnos	Número de Anos a Simular
NumIterações	Numero Máximo de Iterações do Método de Monte Carlo

No quadro 3.6 estão descritas as variáveis de caracterização de cada EFM submetido a simulação.

Quadro 3.6 – Variáveis usadas para definição do EFM [adaptado de CALEJO, 2001]

Variável	Significado
NumClasse	Número de Classes do Histograma (máximo 50)
Marca	Matriz com Valor da Classe
Frequência	Matriz com Frequência Respectiva
Taxa de Juros	Matriz com a Variação da Taxa de Juro, segundo a formula $Taxa_Juros(1)+Taxa_Juros(2)*ano+Taxa_Juro(3)*ano*ano$
Verificar Erro	Booleana, que define se para este EFM se vai usar o critério do limite da incerteza, parar a simulação antes que este atinja o número máximo de iterações
Limite Erros	Valor Limite de Incerteza (por defeito 1%)
Verificar Limite	Booleana, que define se vamos usar ou não um valor fixo para o tempo de substituição, calculado usando o histograma e o valor limite de substituição, em percentagem
Limite de Substituição	Valor de Probabilidade Fixa

Como é notório nem toda a informação vai ser necessária, cada variável reúne apenas numa matriz a informação indispensável no âmbito da simulação pretendida.

No quadro 3.7 apresentam-se as variáveis principais de armazenamento de informação.

Quadro 3.7 – Variáveis de armazenamento usadas no programa. [adaptado de CALEJO, 2001]

Variável	Dimensão	Significado
Histograma	NumElementos	Matriz de Elementos Contendo os Histogramas de Tempo Médio de Intervenção (TMI).
Histograma de Preços	NumElementos	Matriz de Elementos Contendo os Histogramas de Preços

Por sua vez, no quadro 3.8 apresentam-se as variáveis principais usadas no algoritmo do SIMULA.

Quadro 3.8 – Variáveis principais do algoritmo do programa. [adaptado de CALEJO, 2001]

Variável	Dimensão	Significado
Matriz de Elementos	NumElementos, 100	Matriz bidimensional que vai conter os dados dos histogramas de TMI acumulados de todos os elementos
Total	NumAnos	Matriz com a média das probabilidades dos elementos para cada ano
Percentagem dos Elementos	NumElementos, NumAnos	Matriz bidimensional. Contem a probabilidade de substituição para cada elemento em cada ano.
NumSubstituições	NumElementos, NumAnos, NumAnos	Matriz tridimensional (i, j, K). Contem o número de vezes que um dado elemento i, num dado ano j, teve de fazer a substituição k.
Percentagem das Substituições	NumElementos, NumAnos, NumAnos	Matriz tridimensional. Transforma a contagem contida em NumSubstituições em percentagens.
MatProb	100	Matriz local para armazenar os valores da coluna respectiva a um dado elemento da Matriz de elementos. É usada para aceder mais rapidamente aos dados
MatProbPreços	100	O equivalente a MatProb, mas agora para os preços.
Preço Mínimo Preço Máximo Preço Médio Variância de Preço Mínimo Preço Teórico Máximo Preço Teórico	60	No caso de se utilizar um limite de substituição, vamos usar um intervalo de tempo fixo, e vamos ter não apenas um histograma de preços final, mas um histograma por cada ano de substituição. Vamos ter necessidade de armazenar os preços mínimos, médio, máximo, ect, para cada um dos anos.
Frequencia dos Preços	60,25	Para categorizar os resultados de preços, dividindo-os em 25 possíveis classes, e armazena-los, por anos. (máxima de 60 anos).

3.3.3.2. Funcionamento do Programa

Na análise da constituição do SIMULA, verifica-se facilmente que este é constituído por três fases distintas.

- Primeira fase

Corresponde à entrada das variáveis indicadas no quadro 3.5, ou seja, o número de elementos, o número de anos e por fim o número de iterações.

De acordo com os valores inseridos procede-se ao dimensionamento das matrizes necessárias para o passo seguinte, isto é, preenchimento do quadro 3.6 e 3.7.

Fig.3.2 – Entrada de dados do SIMULA.

- Segunda fase - Recolha de Dados

A esta etapa corresponde o preenchimento das variáveis do quadro 3.6. O programa auxilia o utilizador na inserção dos dados referentes a cada EFM. Se nesta fase for necessário regressar a fase anterior para redefinição dos dados, basta usar o ícone “Quadro Inicial” visível na figura 3.3.

Fig.3.3 – Entrada de dados de cada EFM.

Depois dos dados estarem inseridos, o programa faz uma verificação aos dados à procura de uma eventual incorrecção, ou até mesmo falta de dados. Se alguma anomalia for detectada o programa não inicia o cálculo e exibe uma mensagem de erro.

Quando os dados estão correctamente preenchidos basta carregar no ícone “Iniciar Cálculos” para dar início ao cálculo.

- Terceira fase – Cálculos

Como já referido no ponto anterior, se os dados de cada EFM estiverem correctamente inseridos, basta accionar o ícone “Iniciar Cálculos” para o programa dar início aos cálculos através do seguinte fluxograma, expresso na figura 3.4.

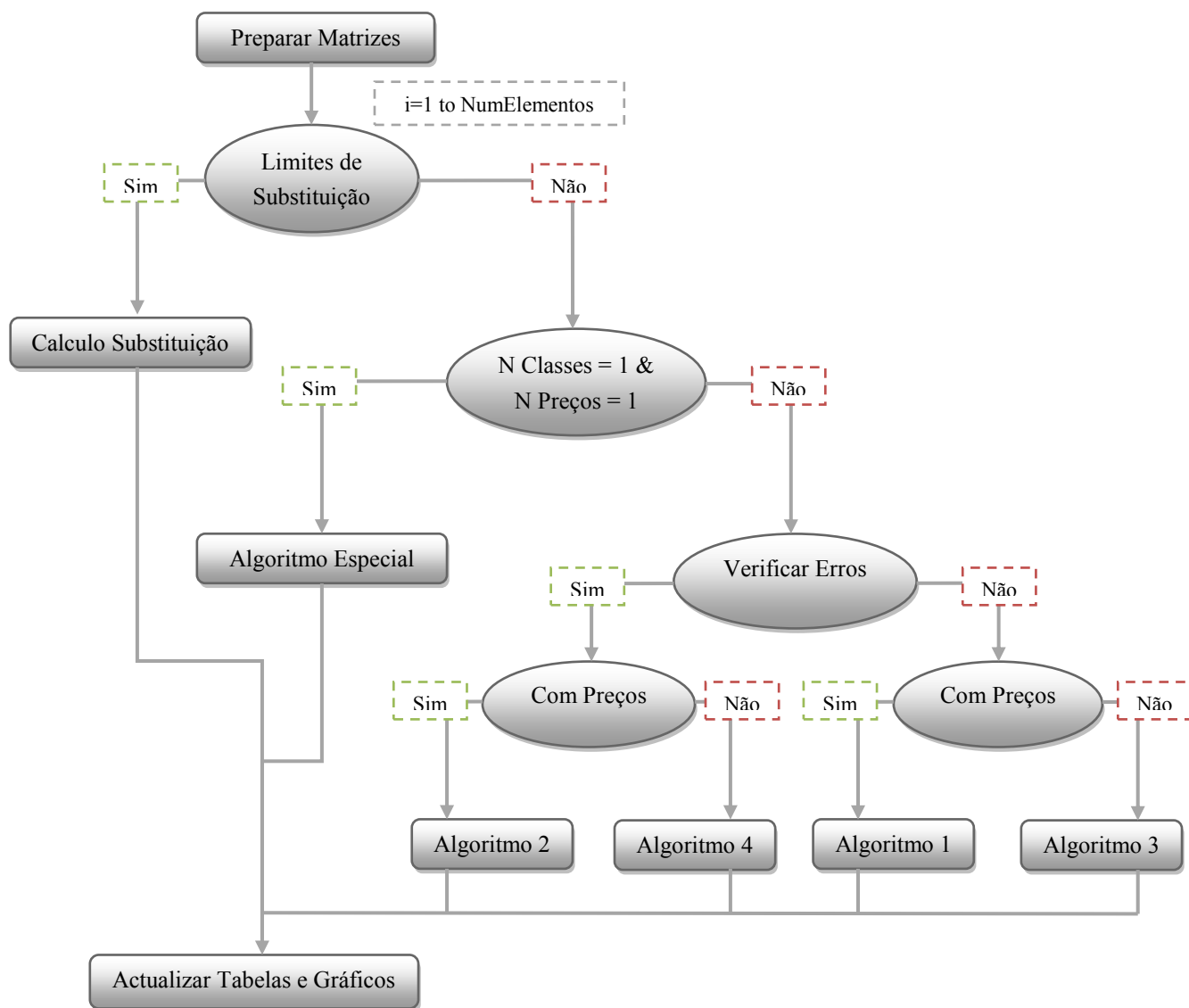


Fig.3.4 – Fluxograma principal do Programa. (Adaptado de [CALEJO, 2001])

O programa inicialmente examina e aplica um conjunto de filtros a todos os elementos fonte de manutenção, até chegarem ao respectivo algoritmo.

Na figura 3.5 apresenta-se detalhadamente o algoritmo 2 que é o mais completo, sendo que os restantes não utilizam o código que não necessitam, contudo todos seguem a mesma filosofia.

3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DE CAPÍTULO

Neste capítulo procurou-se descrever o modo de funcionamento do SIMULA, sabendo que o processo de cálculo deste programa se rege pelo modelo matemático de Monte Carlo. Este método, devido ao facto de trabalhar com a incerteza dos dados revela-se bastante interessante quando se procura realizar a simulação técnica e económica de determinados elementos, considerando que o comportamento do sistema é descrito por uma função densidade probabilidade conhecida *à priori*.

No âmbito do estudo comportamental dos elementos constituintes de edifícios o programa SIMULA demonstra-se uma ferramenta importante na análise e previsão das operações de manutenção ao longo da vida útil do edifício, principalmente nas operações que acarretam incerteza na periodicidade e custos das suas intervenções.

4

ANÁLISE DE DADOS BASE

4.1. INTRODUÇÃO

4.1.1. GENERALIDADES

Como referido no capítulo anterior, o método de cálculo de simulação usado trabalha com base na teoria da probabilidade e incerteza dos dados de cada elemento sujeito a simulação, de forma a chegar a um resultado final.

Na maioria dos casos, os valores exactos referentes aos custos e periodicidades de intervenção em um EFM podem ser de difícil conhecimento, contudo é possível estimar esse mesmo valor, pois este situa-se contido dentro de um intervalo expectável. Desta forma o método de cálculo utilizado recorre ao uso de variáveis aleatórias. Não se conhece o valor exacto destas variáveis, porém sabe-se o intervalo em que se encontram.

O programa SIMULA rege-se pelo funcionamento segundo intervenções cíclicas, sendo necessário fornecer o histograma de incerteza relativo à duração ciclo inicial, assim como o histograma do respectivo custo, isto nas situações em que se considere também a simulação do custo.

Aos casos em que não está associada qualquer tipo de incerteza o programa executa uma previsão determinística, apresentando uma periodicidade de intervenção sempre constante. Na figura 4.1 apresenta-se um exemplo de uma simulação deste género, onde a primeira intervenção ocorre ao décimo ano, e como não possui incerteza associada repete-se de 10 em 10 anos.

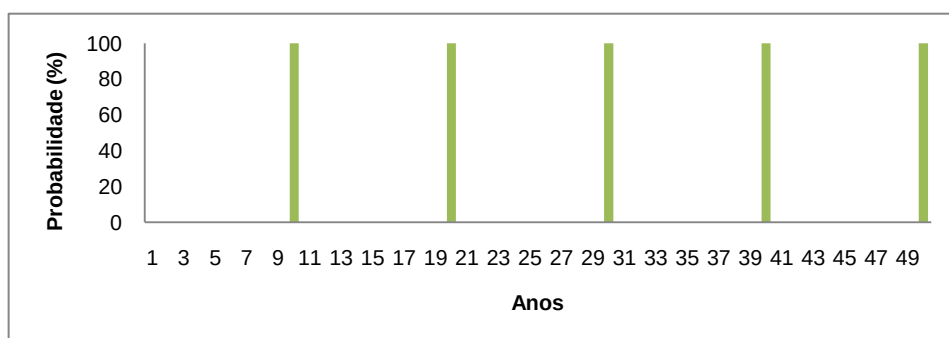


Fig.4.1 – Exemplo de EFM com duração determinística de intervenção

Nos casos em que esteja associada incerteza aos dados de um elemento estes possuem uma curva de probabilidade inerente ao decurso da primeira intervenção. Ao longo do tempo com a repetição dos ciclos de intervenção, os anos em que a probabilidade de a intervenção acontecer é maior vão-se sobrepondo aos que possuem uma probabilidade inferior, facto que conduz à sobreposição das curvas de intervenção dos vários ciclos. Na figura 4.2 está representada uma previsão probabilística.

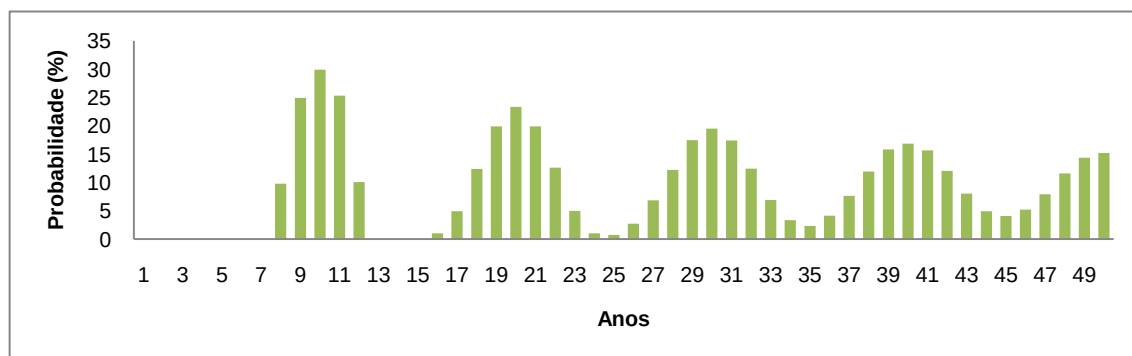


Fig.4.2 – Exemplo de EFM com duração probabilística de intervenção

4.2. ANÁLISE DE PARÂMETROS DO SIMULA

4.2.1. GENERALIDADES

No decorrer do uso do programa SIMULA surgiram algumas questões pertinentes e com elevado interesse de uma análise mais detalhada. Deste modo, a forma de abordagem deste tópico baseia-se no estudo de alguns parâmetros que se consideram mais relevantes na simulação do comportamento dos EFM, tendo em conta fundamentalmente as operações de manutenção.

Na figura 4.3 apresentam-se os três pilares fundamentais do SIMULA, sendo estes, o ciclo base, o tempo de simulação e a incerteza do ciclo. Desta forma, com a variação de alguns destes parâmetros conseguimos de uma maneira mais simples perceber como o programa funciona e desenvolve o seu cálculo, sendo isto o que se pretende retratar nos pontos seguintes.

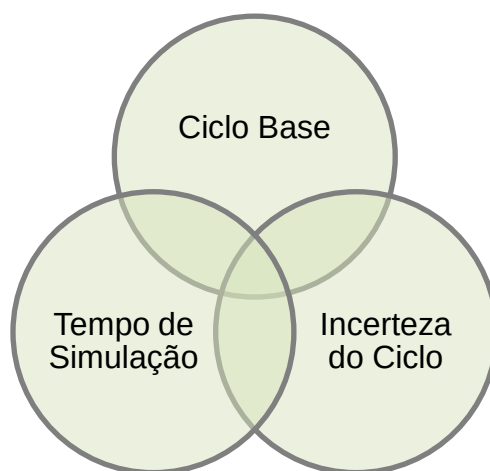


Fig.4.3 – Pilares fundamentais do SIMULA

4.2.2. VARIAÇÃO DO NÚMERO DE INTERVENÇÕES NOS ELEMENTOS AO LONGO DA VIDA ÚTIL

Como já referido anteriormente, para alguns EFM estarem dentro dos padrões de aceitabilidade durante o seu período de vida, estes estão sujeitos a várias operações de manutenção.

Com o programa SIMULA é possível detalhar e prever a probabilidade de ocorrência das operações ao longo do tempo, sendo para isso apenas necessário conhecer a função densidade de probabilidade da primeira operação.

Como se verá, para um período horizonte, por vezes não é possível determinar exactamente quantas operações serão necessárias aplicar ao EFM, contudo o processo de Monte Carlo dá-nos a informação da probabilidade associada a cada número de operação.

Para uma mais fácil compreensão, passa-se a analisar um exemplo, contendo um conjunto de operações relativas a um EFM, considerando uma periodicidade de intervenção centrada no décimo e no quinto ano.

4.2.2.1. Considerando Periodicidade de 10 Anos da Operação de Manutenção

Sendo assim, sabendo que determinada operação apresenta uma periodicidade de 10 anos e a função densidade de probabilidade é a representada na figura 4.4, apresentando-se simétrica e centrada nos 10 anos com probabilidade 30%.



Fig.4.4 – Taxa média de intervenção – centrada no décimo ano

Tendo isto, aplica-se os valores da função densidade de probabilidade da primeira intervenção no processo de Monte Carlo, verificando-se no final dos 50 anos de vida útil, quantas operações terão de ser realizadas. Na imagem fornecida pelo programa, figura 4.5, é possível verificar que a primeira, a segunda, a terceira e a quarta operação apresentam uma probabilidade de 100% de se ter iniciado, contudo a quinta substituição no ano 50 pode ou não ter arrancado.

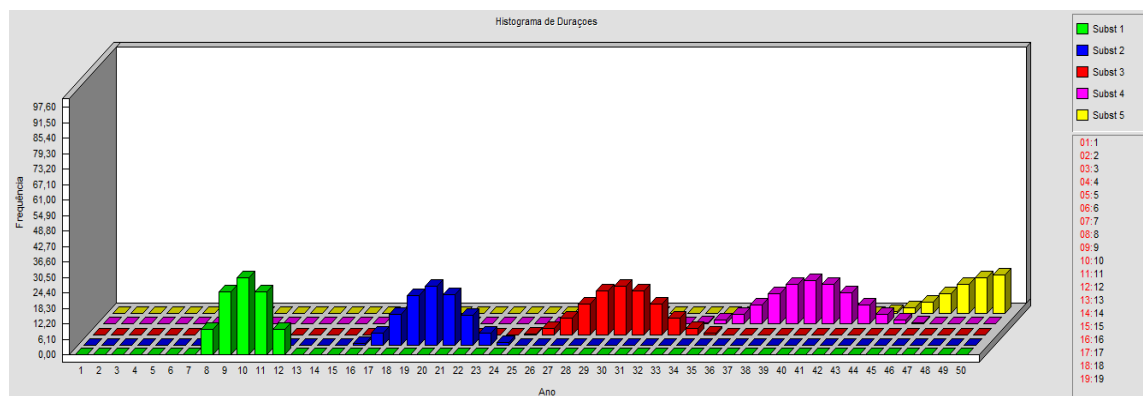


Fig.4.5 – Distribuição das intervenções ao longo dos 50 anos

No gráfico da figura 4.6 observam-se as distribuições de probabilidade acumulada que nos ajudam a analisar mais facilmente os dados saídos do programa.

Como referido anteriormente, no ano 50 a intervenção 1, 2, 3 e 4 já se verificaram. Relativamente à substituição 5, no ano 50 esta apresenta 58% probabilidade de se ter iniciado, ou seja ainda temos 42% de probabilidade de ainda estarmos sobre alçada da quarta operação de manutenção no ano 50.

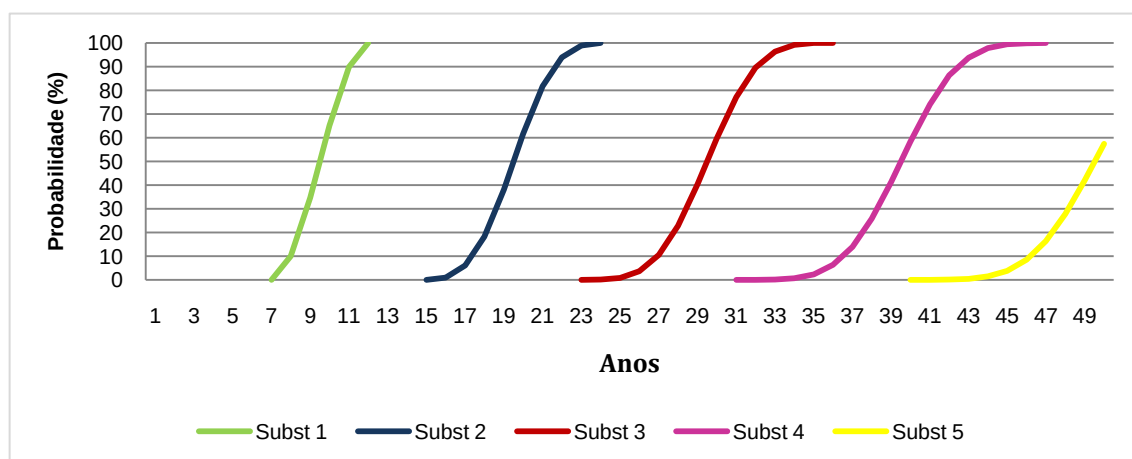


Fig.4.6 – Distribuição das intervenções ao longo dos 50 anos

4.2.2.2. Considerando Periodicidade de 5 Anos da Operação de Manutenção

Considerando agora operações com periodicidades de 5 anos e regidas pela função densidade de probabilidade representada na figura 4.7, que abrange o intervalo compreendido entre o terceiro e o sexto ano.

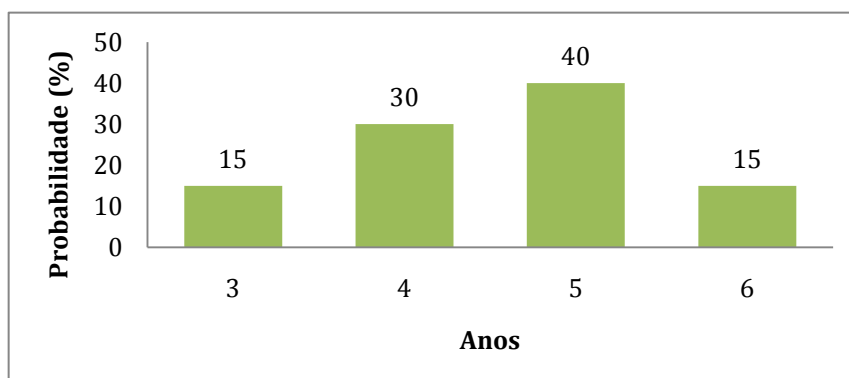


Fig.4.7 – Taxa média de intervenção – centrada no quinto ano

Procede-se à aplicação da função densidade probabilidade inicial no programa, realiza-se a simulação e verifica-se a probabilidade da ocorrência das intervenções.

Como se verifica na imagem extraída do SIMULA, figura 4.8, temos a certeza que segundo esta função densidade de probabilidade num período de 50 anos, pelo menos nove operações de manutenção foram realizadas.

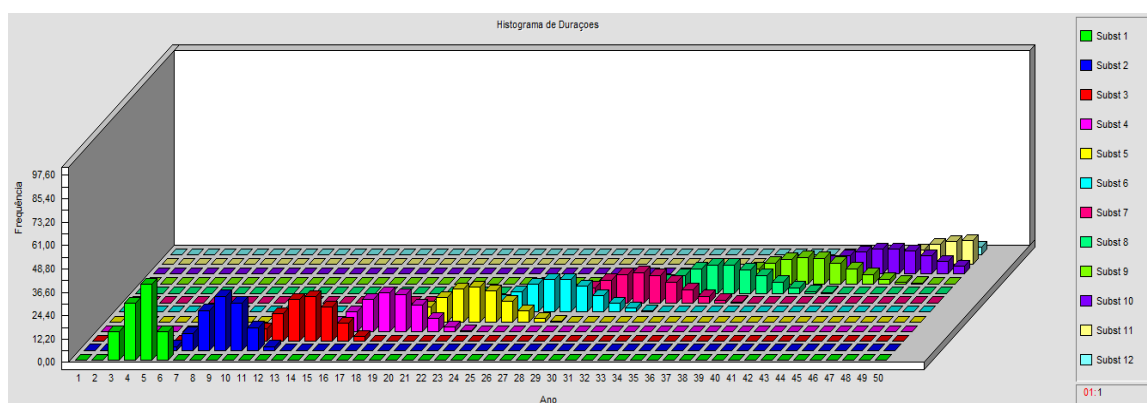


Fig.4.8 – Distribuição das intervenções ao longo de 50 anos

Com o auxílio dos gráficos da figura 4.9, verifica-se mais facilmente que no ano 50 a probabilidade acumulada referente à nona intervenção é de 100%. Quanto à décima intervenção, verifica-se que a probabilidade acumulada é de 95%, querendo isto dizer no que no ano 50 ainda há 5% de probabilidade de não se ter iniciado a décima intervenção. No mesmo ano horizonte é possível também já se ter iniciado a décima primeira intervenção, pois a probabilidade acumulada desta é de 56%. Por fim e não menos importante, resta considerar que a décima segunda intervenção apresenta 10% de probabilidade de se desenvolver também antes dos 50 anos de vida útil do EFM.

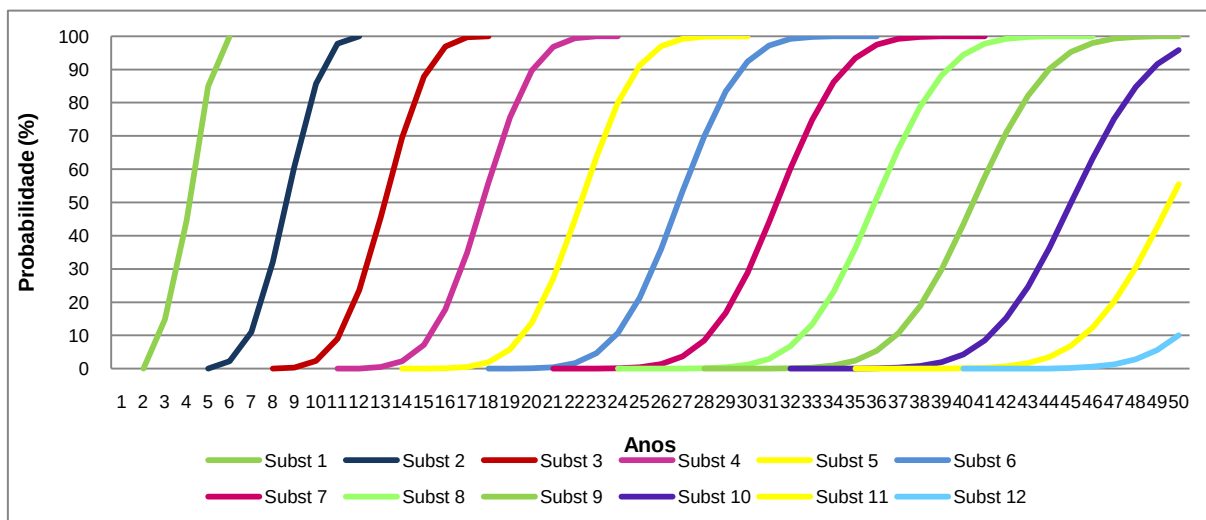


Fig.4.9 – Distribuição das intervenções ao longo de 50 anos

De acordo com os resultados obtidos na simulação pode-se concluir que quanto mais pequenos os ciclos de intervenção, menor precisão teremos no ano horizonte. Como se verifica no exemplo da Taxa Média de Intervenção centrada nos 5 anos, no ano 50 temos possibilidade de ainda estar sobre alçada da nona, da décima, da décima primeira ou até mesmo já da décima segunda intervenção. Por sua vez, quando os ciclos são mais espaçados, caso do exemplo com Taxa Média de Intervenção centrada nos 10 anos, temos mais certeza quanto ao número de operações de manutenção necessárias.

Outra ilação verificada nas demonstrações está relacionada com o aumento de incerteza com o passar dos anos, por exemplo comparando as probabilidades do ano 20 com as do ano 50, facilmente se constata que no ano 20 os dados relativos às intervenções de substituição apresentam maior certeza que os do ano 50.

4.3. ANÁLISE DE CICLOS DE INTERVENÇÕES

4.3.1. GENERALIDADES

É recorrente usar o método de Monte Carlo para estudar e proceder à simulação das operações de Manutenção num determinado EFM. Sabendo *à priori* as características de cada EFM torna-se possível estimar a periodicidade das operações de manutenção, assim como prever o período de tempo em que seja necessário proceder à substituição do elemento. Os ciclos são definidos pelo período de tempo em que ocorrem as substituições dos elementos. Na figura 4.10 está representado de forma esquemática o desenvolvimento dos ciclos ao longo da vida útil.

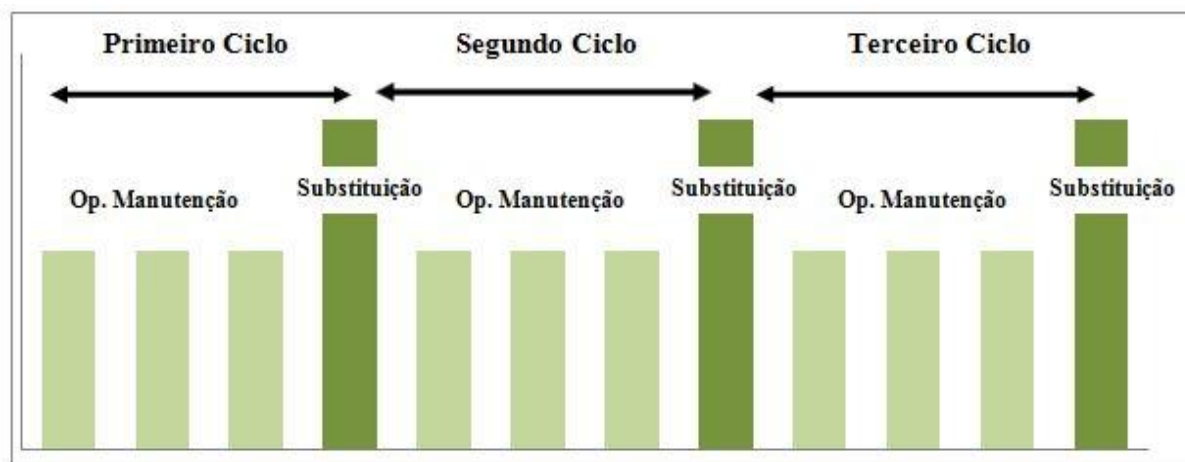


Fig.4.10 – Exemplo esquemático do desenvolvimento dos ciclos

A questão fundamental baseia-se em que a acção de substituição de um componente assinala o início de um novo ciclo. As operações de manutenção deveriam ser independentes de ciclo para ciclo, querendo isto dizer que estas deverão recomeçar do zero quando se desenrola uma nova acção de substituição.

4.3.2. DIFICULDADE DO SIMULA NA DEFINIÇÃO DOS CICLOS

O programa SIMULA apresenta dificuldades na definição dos ciclos, pois este software não permite a interrupção de um ciclo após verificada uma acção de substituição de um determinado elemento. Sendo assim, após termo de um ciclo o programa continua as operações de manutenção associadas a esse mesmo ciclo, o que na realidade e na prática não se verifica.

Para uma melhor percepção do problema e definição do grau do erro cometido, ao nível do número de operações de manutenção e a influência no custo final, recorre-se a uma análise experimental das acções de manutenção e de substituição de um determinado componente usando o SIMULA.

Sendo assim procedeu-se à simulação de três casos, fazendo variar apenas a duração dos ciclos das actividades de substituição e verificar as variações ao nível do números das operações de manutenção e custos no final de 60 anos.

No primeiro caso considerou-se que as acções de substituição ocorreriam com uma periodicidade de 20 anos, no segundo com uma periodicidade de 30 anos e por último um ciclo com duração menor de apenas 10 anos.

Nos três exemplos foi considerada a mesma Taxa Média de Intervenção inicial para as operações de manutenção, expressa no quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Taxa Média de Intervenção relativa à intervenção

TMI (anos)	Frequência (%)
4	35
5	45
6	20

Para realização das simulações considerou-se que as intervenções de manutenção apresentavam um custo fixo de 100€ e as acções de substituição um preço também estático de 2000€, sem taxa de actualização anual.

Salienta-se que por se tratar apenas da exemplificação da influência das acções substituições nas operações de manutenção e sua relevância no custo final, considera-se nos exemplos realizados que as operações de manutenção são idênticas de ciclo para ciclo, o que por vezes na prática pode não se verificar.

4.3.2.1. Ciclos de substituição de 20 anos – caso 1

Na figura 4.11 recolhida do SIMULA apresenta-se o desenvolvimento das operações de manutenção conjugadas com as acções de substituição. Como é visível, no vigésimo ano dá-se a primeira substituição. Contudo e apesar de entrar num novo ciclo, o calculo desenvolvido para as acções de manutenção futuras seguem em continuação do calculo desenvolvido no primeiro ciclo.

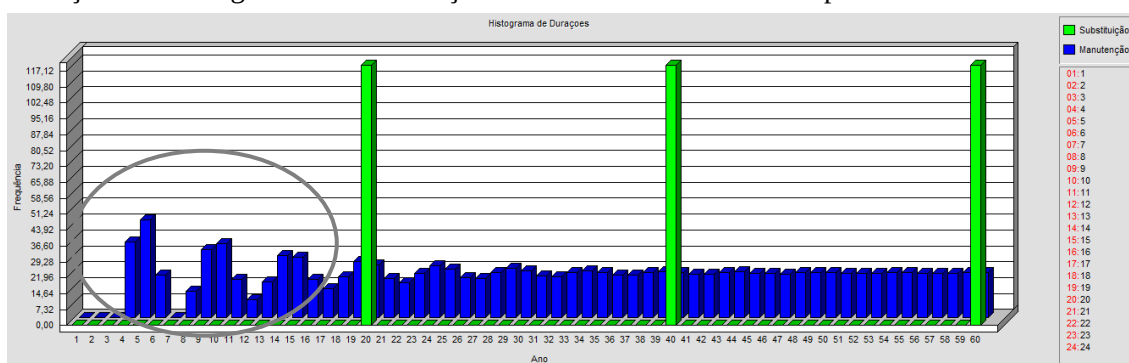


Fig.4.11 – Acções de substituição em conjunto com as acções de manutenção

Assim, o primeiro ciclo assinalado em cima na imagem deveria-se repetir após as substituições realizadas. Segundo o afirmado anteriormente, o processo de manutenção do EFM deve ser interrompido quando este é substituído.

De forma a tentar contornar o problema verificado, realizou-se a simulação das operações de manutenção para cada ciclo de forma separada. Visto que queremos recolher as informações das operações de manutenção para os próximos 60 anos e temos 3 substituições do EFM, recorreu-se à simulação no programa de cada ciclo de forma independente.

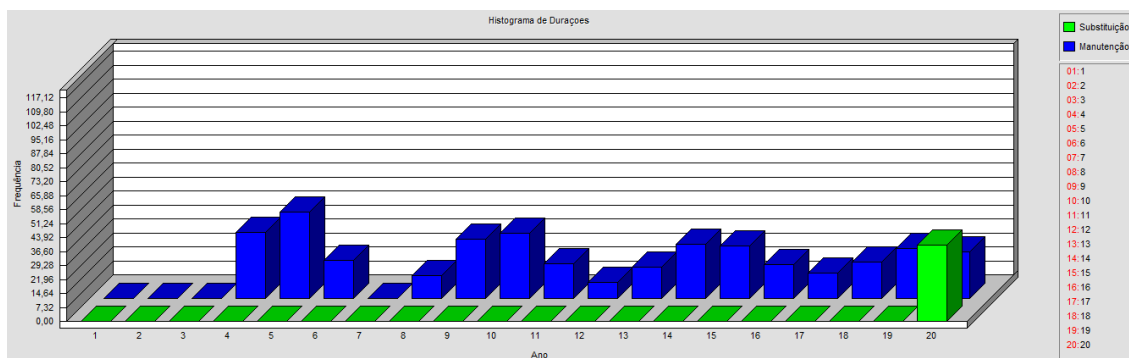


Fig.4.12 – Primeiro ciclo de intervenções - caso 1

Assim sendo, temos a informação das operações de manutenção até à primeira substituição, o que nos dará a informação até ao ano 20, sendo a partir deste possível determinar a informação relativa até ao ano 60. Tal como afirmado anteriormente, considerou-se o comportamento do segundo e terceiro ciclo idênticos ao verificado no ciclo simulado.

No final dos 60 anos pode-se comparar as probabilidades associadas ao número de intervenções de manutenção necessárias. Como é possível verificar no quadro 4.2, sem a interrupção dos ciclos é possível, embora com muito baixa probabilidade, a ocorrência da décima quarta operação de manutenção, por sua vez com a interrupção dos ciclos por parte das actividades de substituição no máximo apenas se realizam 12 operações. Sendo assim, com a interrupção dos ciclos após cada intervenção de substituição é maior a probabilidade de realizarmos menos operações de manutenção no final dos 60 anos.

Quadro 4.2 – Comparação de probabilidades do número de intervenções de manutenção após 60 anos – caso 1

	Sem Interrupção dos Ciclos					Com Interrupção do Ciclos			
Operações de Manutenção	10	11	12	13	14	9	10	11	12
Probabilidade (%)	0,15	17,8	65,5	16,36	0,19	1,1	11,6	40,3	47,0

Com o programa SIMULA ainda podemos calcular o custo associado às operações dos EFM.

Visto isto, foi possível chegar ao quadro 4.3, onde estão representados os custos associados as operações no final dos 60 anos.

Quadro 4.3 – Preços associados no final dos 60 anos – caso 1

	Preço (€)		
	Mínimo	Médio	Máximo
Com Interrupção do Ciclos	6900	7134,3	7200
Sem Interrupção dos Ciclos	7000	7198,5	7400

Como se constata no quadro acima, ao considerar-se na simulação que os ciclos das operações de manutenção são interrompidos com as acções de substituição, no final dos 60 anos considerados teremos maior probabilidade de realizarmos menos acções de manutenção e por consequência os custos inerentes a este tipo de simulação apresentam-se mais baixos.

4.3.2.2. Ciclos de substituição de 30 anos – caso 2

Repetindo o processo descrito para a simulação anterior, mas desta vez para periodicidades de substituição de 30 anos e recorrendo ao SIMULA foi possível obter a figura 4.13 relativa a um ciclo que termina na acção de substituição.

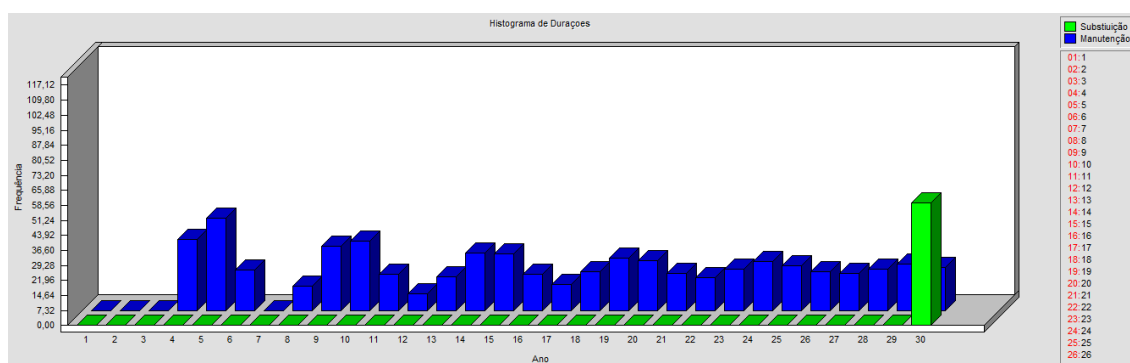


Fig.4.13 – Primeiro ciclo de intervenções – caso 2

Analogamente ao que fez na simulação anterior, é possível obter as probabilidades associadas ao número das operações de manutenção no final dos 60 anos. Como se vê no quadro 4.4, tanto com interrupção ou sem interrupção das operações de manutenção no ano 30, no final dos 60 anos o intervalo do número das operações é igual, 10 a 14 operações, embora se note uma maior probabilidade se realizarem apenas 10 ou 11 operações quando se proceda à interrupção do ciclo.

Quadro 4.4 – Comparação das probabilidades do número de intervenções de manutenção após 60 anos - caso 2

	Sem Interrupção					Com Interrupção				
Operações de Manutenção	10	11	12	13	14	10	11	12	13	14
Probabilidade (%)	0,15	17,8	65,5	16,36	0,19	4,7	32,6	56,6	4,7	0,1

Como o intervalo do número de operações possíveis é igual nos dois casos, então os preços mínimos e máximos são iguais considerando ou não a interrupção dos ciclos, conforme demonstra a quadro 4.5.

Relativamente ao preço médio nota-se um ligeiro decréscimo pouco significativo, aproximadamente de 0,7%, quando se procede à simulação com interrupção dos ciclos de manutenção por parte das intervenções de substituição.

Quadro 4.5 – Preços associados no final dos 60 anos – caso 2

	Preço (€)		
	Mínimo	Médio	Máximo
Com Interrupção do Ciclos	5000	5163,2	5400
Sem Interrupção dos Ciclos	5000	5199	5400

4.3.2.3. Ciclos de substituição de 10 anos – caso 3

De forma entender se a influencia nos custos finais é significativa quando se procede a substituições com periodicidades mais pequenas, realiza-se então esta simulação que contempla períodos de substituição de apenas 10 anos.

Sendo assim e com o auxilio do programa obteve-se a figura 4.14 demonstrativa do primeiro ciclo.

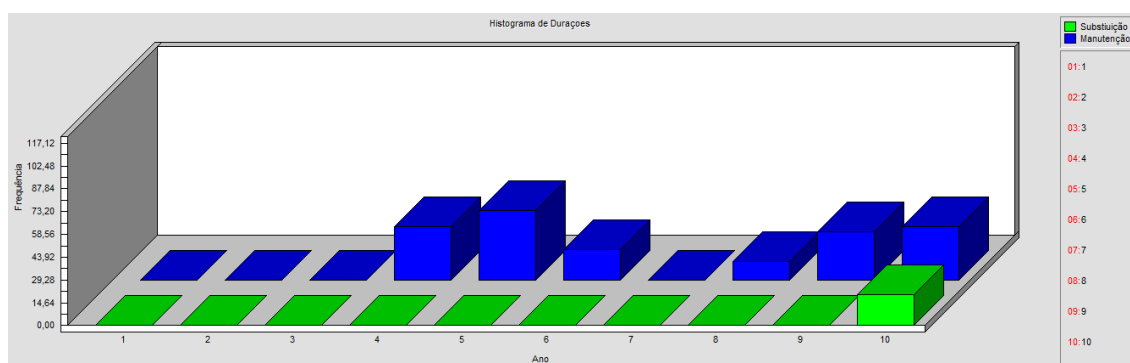


Fig.4.14 – Primeiro ciclo de intervenções – caso 3

Como é visível na figura anterior, durante os primeiros 10 anos podemos observar 1 ou 2 operações de manutenção, que combinadas de variadas formas no final dos 60 anos podem estar dentro de um intervalo que vá desde 6 a 12 operações de manutenção. No quadro 4.6 apresentam-se as probabilidades de ocorrência das operações de manutenção no final dos 60 anos considerando a interrupção dos ciclos. Não estando representado no quadro 4.6, mas as probabilidades associadas às operações de manutenção no final dos 60 anos, sem interrupção dos ciclos, são iguais às verificadas para os ciclos de substituição de 20 e 30 anos.

Quadro 4.6 – Comparação das probabilidades do número de intervenções de manutenção após 60 anos - caso 3

	Com Interrupção						
Operações de Manutenção	6	7	8	9	10	11	12
Probabilidade (%)	0,01	0,23	2,15	7,77	28,20	38,40	23,24

No quadro 4.7 apresentam-se para este tipo de ciclo os custos inerentes aos 60 anos. Como é visível, com a interrupção dos ciclos os custos mínimo, médio e máximo são mais baixos, apresentando decréscimos de 400€, 131€ e 200€ respectivamente quando comparados com os custos sem a interrupção dos ciclos.

Quadro 4.7 – Preços associados no final dos 60 anos – caso 3

	Preço (€)		
	Mínimo	Médio	Máximo
Com Interrupção do Ciclos	12600	13068	13200
Sem Interrupção dos Ciclos	13000	13199	13400

4.3.2.4. Conclusões referentes aos ciclos com ou sem interrupção

Como ficou demonstrado nos três exemplos anteriores existe alguma influência nos números de operações e nos custos finais, ao considerar-se a interrupção das operações de manutenção de um dado EFM quando se procede à substituição desse mesmo EFM.

Das três durações dos ciclos considerados, a maior diferença entre os números de operações de manutenção e custos no final dos 60 anos incidiu nas acções de substituição de menor ciclo, isto é, quando se realizou a substituição do EFM no ano 10.

Por outro lado, quando os ciclos de substituição são de maior dimensão temporal, caso do exemplo de uma substituição no ano 30, o intervalo dos números de operações de manutenção num determinado EFM no ano 60 são iguais, tanto se considere interrupção ou não das operações de manutenção quando se realiza a acção de substituição. Isto vai fazer com que os custos mínimos e máximos sejam idênticos, notando-se apenas uma pequena variação entre os custos médios, devido à diferente distribuição de probabilidade associada aos números de intervenções de manutenção.

Desta forma para obtenção de um maior rigor nas previsões de custos é necessário termos consciência da forma como se desenrolam as intervenções de manutenção e de como estas se relacionam com as acções de substituição.

4.3.3. PERÍODO DE CARÊNCIA DE INTERVENÇÕES

Outra questão que se levanta quando o uso do programa SIMULA esta relacionada com o início de uma actividade cíclica a partir de uma determinada data diferente da periodicidade do ciclo. Na figura 4.15 apresenta-se um exemplo onde é possível verificar que existe um período, até ao décimo ano, onde não se desenvolve qualquer tipo de actividade, este tempo é normalmente denominado por período de carência, começando as intervenções a desenvolver-se de forma cíclica e probabilística após este período.

Quando estamos a simular o comportamento das operações de manutenção por vezes esta questão emerge, e temos de estar consciencializados que o SIMULA devido à forma como está programado não nos permite realizar simulações deste género de forma directa.

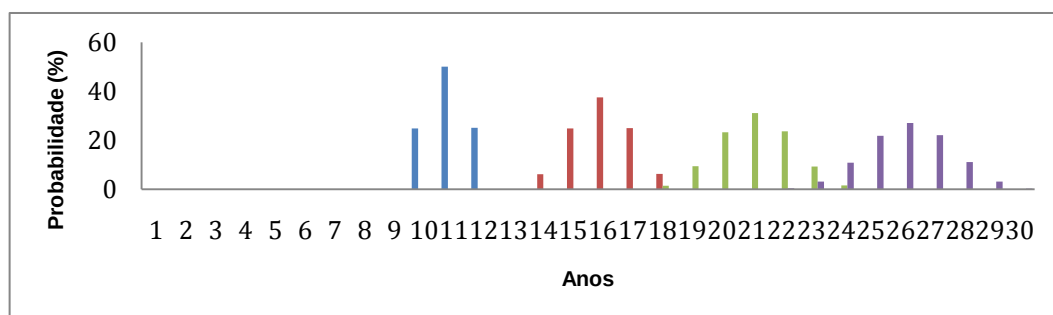


Fig.4.15 – Demonstração do período de carência.

Desta forma, o que a figura pretende transmitir é que até ao décimo ano estamos perante um período de carência, começando após este tempo o desenvolvimento de actividades cíclicas. Neste caso em concreto as actividades cíclicas apresentam-se com incertezas, mas os períodos de carência também podem estar associados a actividades determinísticas, isto é sem incertezas.

4.4. SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO

4.4.1. GENERALIDADES

Como se referiu no capítulo 2 as operações de manutenção podem ser divididas em cinco actividades distintas, sendo estas as Inspeções, as Limpezas, as Medidas Pró-Activas, as Medidas Correctivas e por fim as Substituições.

De acordo com o que já foi referido as operações de manutenção, mais precisamente as Inspeções, as Limpezas e as Medidas Pró-Activas apresentam um comportamento variável em função da duração dos ciclos de Substituição.

Sendo assim e para se perceber de uma forma mais esclarecedora como se desenrola o processo, recorreu-se ao SIMULA para realização de simulações comportamentais relativas às operações de manutenção de um dado EFM.

4.4.2. TENDO EM CONSIDERAÇÃO DURAÇÕES PROBABILÍSTICAS E CUSTOS DETERMINÍSTICOS

Inicialmente considerou-se que as operações de manutenção apresentavam uma Taxa Média de Intervenção probabilística e o custo de cada acção apresentavam um valor fixo. Assim, desta forma apresenta-se no quadro 4.8 os valores inseridos no SIMULA para desenvolvimento da simulação.

Quadro 4.8 – Histogramas das operações de Manutenção sujeitas a simulação.

Substituição		Inspeção		Limpeza		Medidas Pró - Activas	
TMI (Anos)	Freq.(%)	TMI (Anos)	Freq.(%)	TMI (Anos)	Freq.(%)	TMI (Anos)	Freq.(%)
18	10	2	20	2	30	3	10
19	20	3	40	3	60	4	20
20	40	4	30	4	10	5	40
21	20	5	10	-	-	6	20
22	10	-	-	-	-	7	10
Custo de 10000 Euros		Custo de 100 Euros		Custo de 90 Euros		Custo de 250 Euros	

Com a introdução dos valores apresentados no quadro 4.8 no programa e fazendo uma simulação para os 22 anos seguintes após o arranque inicial, obtêm-se os histogramas de durações de cada operações de manutenção, representado na figura 4.16.

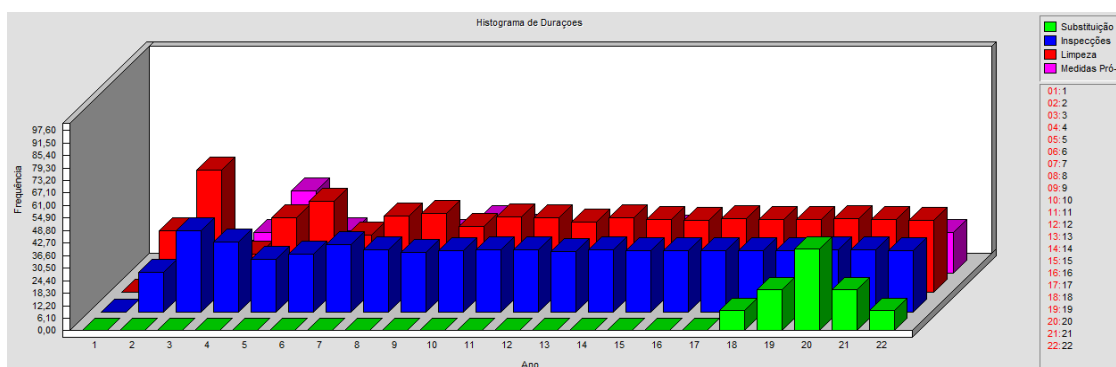


Fig.4.16 – Histograma de durações das operações até ao ano 22.

Como é notório na figura anterior, a substituição pode-se dar entre o ano 18 e o ano 22, condicionando assim o número das restantes operações consideradas. Desta forma, toma interesse relevante uma análise mais detalhada dos resultados da simulação para os anos em que seja expectável a ocorrência da substituição. Apresenta-se assim no quadro 4.9 o conjunto de valores mínimo, médio e máximo para os preços inerentes a cada operação nos anos referidos.

Quadro 4.9 – Preços inerentes a cada intervenção nos anos em que seja provável a substituição.

Ano	Intervenção	Preço (€)		
		Mínimo	Médio	Máximo
18	Substituição	0	980,67	10000
	Inspecção	300	513,9	800
	Limpeza	360	552,1	810
	Medidas Proactivas	500	805,9	1250
	Total	1160	2852,57	12860
19	Substituição	0	3003,34	10000
	Inspecção	300	545	800
	Limpeza	360	583,9	810
	Medidas Proactivas	500	853,9	1250
	Total	1160	4986,14	12860
20	Substituição	0	6935,34	10000
	Inspecção	400	575,2	900
	Limpeza	450	616,1	810
	Medidas Proactivas	500	904,5	1500
	Total	1350	9031,14	13210
21	Substituição	0	9011,34	10000
	Inspecção	400	605,3	900
	Limpeza	450	648,2	900
	Medidas Proactivas	750	957,6	1500
	Total	1600	11222,44	13300
22	Substituição	10000	10000	10000
	Inspecção	400	635,7	1000
	Limpeza	540	680,1	900
	Medidas Proactivas	750	1006,6	1500
	Total	11690	12322,4	13400

Por análise do quadro 4.9 facilmente se verifica que este ciclo pode ter o seu termo entre o ano 18 e o ano 22. Desta forma, também é possível verificar que o custo mínimo do ciclo acontece se este terminar no ano 18 apresentando um valor de 11160€, resultante da soma de 10000€ relativos a operação de Substituição com o somatório dos custos mínimo referentes as restantes operações de manutenção nesse mesmo ano. Por outro lado, é de directa constatação através do mesmo quadro que o custo máximo do ciclo acontece se a substituição ocorrer no ano 22, sendo então o valor máximo das acções de manutenção de 13400€, o que representa um aumento de aproximadamente 20% relativamente ao custo mínimo.

Relativamente ao ano central, ano 20, se a substituição ocorrer neste ano acarreta um custo mínimo de 11350€ e um custo máximo de 13210€, o que corresponde a um aumento máximo do custo na ordem dos 16% do custo mínimo.

4.4.3. TENDO EM CONSIDERAÇÃO DURAÇÕES E CUSTOS PROBABILÍSTICOS

Procedeu-se a esta simulação considerando a Taxa Média de Intervenção das operações de manutenção do exemplo anterior, quadro 4.8, e adicionando desta vez incerteza nos custos associados às respectivas operações de manutenção. No quadro 4.10 apresenta-se a distribuição dos custos de cada operação.

Quadro 4.10 – Histogramas dos preços das operações de Manutenção sujeitas a simulação

Substituição		Inspeção		Limpeza		Medidas Pró - Activas	
Preço (€)	Freq.(%)	Preço (€)	Freq.(%)	Preço (€)	Freq.(%)	Preço (€)	Freq.(%)
9000	30	90	25	80	20	240	35
10000	40	100	45	90	60	250	40
11000	30	110	30	100	20	260	25

O histograma de durações que nos dá o SIMULA é idêntico ao da figura 4.16, pois considerou-se a mesma TMI das operações de manutenção. Desta forma facilmente se conclui que o ciclo pode ter termo entre o ano 18 e o ano 22 como no exemplo anterior. A principal diferença assenta no facto que nesta simulação os custos das operações podem oscilar entre a gama de valores expressos no quadro 4.10.

Analogamente ao exemplo anterior apresenta-se o conjunto de valores mínimo, médio e máximo para os preços inerentes a cada operação nos anos referidos.

Quadro 4.11 – Preços inerentes a cada intervenção nos anos em que seja provável a substituição

Ano	Intervenção	Preço (€)		
		Mínimo	Médio	Máximo
18	Substituição	0	972,7	11000
	Inspeção	270	517,1	810
	Limpeza	350	552	860
	Medidas Proactivas	480	802,9	1280
	Total	1100	2844,7	13950
19	Substituição	0	2922,7	11000
	Inspeção	300	547,5	840
	Limpeza	370	583,6	840
	Medidas Proactivas	480	849,7	1290
	Total	1150	4903,5	13970
20	Substituição	0	6924,8	11000
	Inspeção	360	578,3	940
	Limpeza	410	616,3	900
	Medidas Proactivas	480	901,7	1500
	Total	1250	9021,1	14340

21	Substituição	0	9018,9	11000
	Inspecção	360	608,9	970
	Limpeza	410	647,8	900
	Medidas Proactivas	720	953,4	1550
	Total	1490	11229	14420
22	Substituição	9000	10003,3	11000
	Inspecção	370	638,7	960
	Limpeza	430	680,2	950
	Medidas Proactivas	720	1002,5	1760
	Total	10520	12324,7	14670

Analisando o quadro 4.11 é possível verificar que o custo mínimo do ciclo acontece se este terminar no ano 18 apresentando um valor de 10100€, resultante da soma de 9000€ relativos ao custo mínimo da operação de Substituição com o somatório dos custos mínimo referentes as restantes operações de manutenção nesse mesmo ano. Por outro lado, é de fácil constatação através do quadro 4.11 que o custo máximo do ciclo acontece se a substituição ocorrer no ano 22, sendo então o valor máximo das acções de manutenção de 14670€, o que representa ao aumento de aproximadamente 45% relativamente ao custo mínimo.

Se a substituição ocorrer no ano 20, ano central, acarreta no mínimo um custo de 10250€ e um custo máximo de 14340€, o que corresponde a um aumento máximo de custo na ordem dos 40% do custo mínimo.

Nesta simulação onde se associam aos preços incertezas, as variações entre os preços mínimos e os preços máximos são mais elevadas comparativamente com a simulação onde os preços se apresentam fixos. Basta ver que nesta simulação a variação máxima é de aproximadamente 45% e na simulação anterior, onde os preços eram determinísticos, esta variação não passa dos 20%.

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DE CAPÍTULO

Neste capítulo procurou-se analisar situações importantes inerentes às simulações do comportamento de determinados EFM e verificar como o SIMULA desenvolve essas simulações, sendo para o efeito focados vários tipos de problemáticas através de situações exemplo.

Através das simulações realizadas foi possível tomar consciência que quanto mais pequenos os ciclos de intervenção de uma determinada operação de manutenção, menos precisão se terá em relação ao número de intervenções necessárias ao longo da vida útil do EFM.

As acções de substituição de um elemento e/ou componente devem interferir e interromper os ciclos das operações de manutenção, querendo isto dizer que com as acções de substituição devem terminar as operações de manutenção anteriores e se proceder ao início de outras. O SIMULA apresenta o problema da não definição dos ciclos por parte das acções de substituição. Para verificar se a falha era relevante procedeu-se à simulação de três exemplos, sendo verificado uma maior diferença para as intervenções com e sem interrupção de substituição com menor espaçamento, isto é para as situações onde ocorrem um maior número de substituições ao longo do tempo considerado.

O processo de Monte Carlo apresenta a particularidade de trabalhar com a incerteza dos valores das durações e dos preços, o que permite uma análise mais cuidada e nos dá um intervalo de valores prováveis relativos às durações e preços inerentes às simulações realizadas.

5

APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

5.1. INTRODUÇÃO

Após análise mais teórica sobre o funcionamento do programa de simulação, é âmbito deste capítulo a aplicação prática do SIMULA. Por vezes, e como já referido anteriormente, a simulação do comportamento de certos elementos não é tarefa fácil, complicando-se ainda mais quando o número desses elementos em análise é bastante elevado.

Para proceder à simulação das acções de manutenção, recorreu-se aos dados usados numa dissertação de Mestrado do Instituto Superior Técnico, realizada por Inês Flores, [FLORES, 2002]. Nessa dissertação, os dados são analisados através da aplicação do Método do LCC, sendo então objectivo deste trabalho a comparação dos valores finais obtidos pela simulação do programa SIMULA com os valores obtidos pelo método do LCC.

Os dados que serão sujeitos a simulação estão inerentes a cinco tipos de revestimentos de fachada, sendo estes, o reboco monomassa, a membrana elástica, a tinta plástica, o revestimento cerâmico e a pedra natural. A cada um destes revestimentos serão associados quatro estratégias de manutenção a que correspondem características específicas ao nível da vida útil, das operações de manutenção e sua periodicidade e dos custos envolvidos.

5.2. ANALISE DAS SITUAÇÕES SUJEITAS A SIMULAÇÃO

5.2.1. ENQUADRAMENTO

As actividades de manutenção inerentes aos cinco tipos de revestimentos e de acordo com os dados recolhidos podem ser regidos por quatro tipos de estratégias, sendo estas: Sem Manutenção, Limpezas, Reparações Ligeiras, Reparações Pesadas. No quadro 5.1 apresentam-se as operações associadas a cada estratégia de acordo com o descrito por [FLORES, 2002]. De salientar que a diferença entre as reparações ligeiras e as reparações pesadas para o revestimento cerâmico e revestimento a pedra natural reside na periodicidade com que estas são realizadas.

Quadro 5.1 – Caracterização das estratégias.

	Limpeza	Reparação Ligeira	Reparação Pesada
Reboco Monomassa	Limpeza a jacto de água e escovagem para desagregação de todo o material solto ou com pouca fixação, eliminando fungos, líquenes, gorduras e poeiras.	Idêntico à Limpeza, com adição de tratamento de fissuras até 1mm e execução de reboco monomassa.	Idêntico à Limpeza, com adição de alegamento e colmatagem de fendas superficiais, picagem do reboco existente e execução de novo.
Membrana elástica		Idêntico à Limpeza, com adição de tratamento de fissuras até 1mm.	Idêntico à Limpeza, com adição de alegamento e colmatagem de fendas superficiais e pintura com membrana elástica.
Tinta plástica		Idêntico à Limpeza, com adição de tratamento de fissuras até 1mm e pintura a tinta plástica.	Idêntico à Limpeza, com adição de alegamento e colmatagem de fendas superficiais e pintura com tinta plástica.
Revestimento cerâmico		Idêntico à Limpeza, com adição de tratamento de fissuras até 1mm e reparação/substituição de cerâmicos partidos.	
Pedra natural		Idêntico à Limpeza, com adição de tratamento de fissuras até 1mm e reparação/substituição de pedras partidas.	

5.2.2. ESTIMATIVA DOS CUSTOS

Na simulação dos custos das estratégias são contabilizados os custos das intervenções de aplicação, manutenção e os custos de substituição. As intervenções de substituição coincidem com o fim da vida útil do primeiro ciclo e aplicação de novo revestimento.

Sendo assim, a estimativa dos custos para as várias estratégias segue a seguinte linha de pensamento:

$$C_{Sem\ Manutenção} = C_{aplicação} + C_{Substituição} \quad (5.1)$$

$$C_{Limpezas} = C_{aplicação} + \sum C_{Limpezas} + C_{Substituição} \quad (5.2)$$

$$C_{Reparações\ Ligeiras} = C_{aplicação} + \sum C_{Reparações\ Ligeiras} + C_{Substituição} \quad (5.3)$$

$$C_{Reparações\ Pesadas} = C_{aplicação} + \sum C_{Reparações\ Pesadas} + C_{Substituição} \quad (5.4)$$

Para o desenvolvimento da simulação e para existir uma certa coerência nos dados, considerou-se uma taxa de actualização de 3,7%, visto que o mesmo valor foi admitido no cálculo do LCC na simulação técnico-económica realizada por Inês Flores.

A simulação para determinação dos custos das diferentes estratégias aplicadas aos revestimentos será realizada para um período de 44 anos.

5.3. DADOS BASE DE INÊS FLORES

5.3.1. ENQUADRAMENTO

Apresentam-se os dados usados na simulação dos diferentes tipos de revestimentos de fachada, sendo estes como já referido anteriormente recolhidos da Dissertação de Mestrado de Inês Flores, [FLORES, 2002].

5.3.2. DADOS RECOLHIDOS DE [FLORES, 2002]

Assim sendo, apresentam-se os dados relativos de cada estratégia de manutenção a aplicar nos revestimentos de fachada. Como se torna evidente nos quadros seguintes, o tipo de estratégia adoptada para os diferentes revestimentos vão influenciar a vida útil desse mesmo revestimento. É de notar que no fim de cada vida útil é colocado um novo revestimento do mesmo género, o que se considerou como um intervenção de substituição.

Nos quadros 5.2 a 5.6 são caracterizadas ao nível da periodicidade de intervenção e de custos as estratégias a aplicar a cada revestimento.

Quadro 5.2 – Caracterização das estratégias aplicadas ao Reboco Monomassa

EFM	Estratégia	Intervenções (anos)	Custo (€/m ²)	Vida Útil
Reboco Monomassa	Sem Manutenção	13.5	23,25	13.5
		3	1	
		7	1	
		10	1	
		14	1	
	Limpezas	16	23,25	16
		5	3,65	
		9	3,65	
		14	3,65	
		18	3,65	
	Reparações Ligeiras	23	3,65	40
		27	3,65	
		32	3,65	
		36	3,65	
		40	23,25	
	Reparações Pesadas	9	13,90	22
		22	23,25	

Quadro 5.3 – Caracterização das estratégias aplicadas ao Membrana Elástica

EFM	Estratégia	Intervenções (anos)	Custo (€/m ²)	Vida Útil
Membrana Elástica	Sem Manutenção	10	10	10
		2	1	
	Limpezas	5	1	
		7	1	12
		10	1	
		12	10	
	Reparações Ligeiras	3	2,1	
		7	2,1	
		10	2,1	
		13	2,1	
		17	2,1	30
		20	2,1	
		23	2,1	
		26	2,1	
		30	10	
	Reparações Pesadas	7	8,9	16
		16	10	

Quadro 5.4 – Caracterização das estratégias aplicadas à Tinta Plástica

EFM	Estratégia	Intervenções (anos)	Custo (€/m ²)	Vida Útil
Tinta Plástica	Sem Manutenção	5	8,5	5
		1	1	
	Limpezas	3	1	
		4	1	6
		5	1	
		6	8,5	
	Reparações Ligeiras	2	2,85	
		3	2,85	
		5	2,85	
		7	2,85	
		9	2,85	15
		10	2,85	
		12	2,85	
		14	2,85	
		15	8,5	
	Reparações Pesadas	3	7,35	8
		8	8,5	

Quadro 5.5 – Caracterização das estratégias aplicadas ao Revestimento Cerâmico

EFM	Estratégia	Intervenções (anos)	Custo (€/m ²)	Vida Útil
Revestimento Cerâmico	Sem Manutenção	17	28	17
	Limpezas	4	4,5	20
		8	4,5	
		13	4,5	
		17	4,5	
		20	28	
	Reparações Ligeiras	6	7,75	50
		11	7,75	
		17	7,75	
		23	7,75	
		28	7,75	
		34	7,75	
		39	7,75	
		45	7,75	
		50	28	
	Reparações Pesadas	11	15,90	28
		28	28	

Quadro 5.6 – Caracterização das estratégias aplicadas ao Revestimento de Pedra Natural

EFM	Estratégia	Intervenções (anos)	Custo (€/m ²)	Vida Útil
Revestimento de Pedra Natural	Sem Manutenção	27	72,5	27
	Limpezas	7	6,5	32
		14	6,5	
		20	6,5	
		27	6,5	
		32	72,5	
	Reparações Ligeiras	9	14,45	80
		18	14,45	
		27	14,45	
		36	14,45	
		45	14,45	
		54	14,45	
		63	14,45	
		72	14,45	
		80	72,5	
	Reparações Pesadas	18	34,33	44
		44	72,5	

5.3.3. CUSTOS FINAIS OBTIDOS PELO LCC

Para uso do método do LCC recorreu-se aos quadros 5.2 a 5.6, pois nestes se apresentavam os valores de durações e custos de forma determinística e sem incerteza.

A comparação entre as alternativas das várias estratégias a aplicar nos revestimentos apresentam-se no quadro 5.7, sendo os custos determinados pela seguinte fórmula:

$$LCC = \sum_{t=0}^N \frac{C(1+e)^t}{(1+d)^t} \quad (5.5)$$

Onde representam respectivamente:

- C - Custo;
- d - Taxa de actualização de 3,7%;
- e - Taxa diferencial de preços, sendo considerada igual a zero;
- N - Período de estudo de 44 anos.

Quadro 5.7 – Resultados dos custos das diferentes estratégias no ano 44 obtidos pelo LCC

Revestimento	Estratégia	Custo (€/m ²)
Reboco Monomassa	Sem Manutenção	44,05
	Limpezas	40,45
	Reparações Ligeiras	35,78
	Reparações Pesadas	45,15
Membrana Elástica	Sem Manutenção	26,50
	Limpezas	29,33
	Reparações Ligeiras	24,63
	Reparações Pesadas	30,60
Tinta Plástica	Sem Manutenção	40,19
	Limpezas	49,24
	Reparações Ligeiras	48,60
	Reparações Pesadas	51,30
Revestimento Cerâmico	Sem Manutenção	45,74
	Limpezas	62,02
	Reparações Ligeiras	48,40
	Reparações Pesadas	47,12
Revestimento de Pedra Natural	Sem Manutenção	83,03
	Limpezas	79,23
	Reparações Ligeiras	83,16
	Reparações Pesadas	88,41

No anexo A está descrita a evolução dos custos para as diferentes estratégias, tendo por base a formula apresentada para o cálculo do LCC.

Como é visível no quadro 5.7, cada tipo de revestimento apresenta valores para os custos finais de manutenção variáveis consoante o tipo de estratégia adoptada.

Segundo os resultados do LCC para o reboco monomassa, a estratégia que fica mais económica no fim do período de análise é aquela que se rege de acordo com as reparações ligeiras, apresentando um custo final de 35,78€/m². Por outro lado, para o mesmo tipo de revestimento a solução que representa maiores encargos financeiros é a reparação pesada, com um custo global de 45,15€/m².

No que diz respeito à tinta plástica, segundo este método de cálculo a estratégia que representa um menor esforço económico é a que segue as linhas das reparações ligeiras, apresentando para este caso um custo global de 24,63€/m². Também para este tipo de revestimento, o esquema de manutenção regido pelas reparações pesadas é aquele que apresenta maior custo no ano horizonte, 30,60€/m².

A estratégia de actuação que se rege sem acções de manutenção apresenta o valor mais baixo comparativamente às outras estratégias no caso do revestimento a tinta plástica, com um valor de 40,19€/m². As reparações pesadas também para este tipo de revestimento são aquelas que apresentam um maior esforço económico, 51,30€/m².

Para o revestimento cerâmico a estratégia que fica mais económica é aquela que se rege segundo sem acções de manutenção, apresentando um custo global de 45,74€/m². Por outro lado, a estratégia que proporciona custos mais avultados é a manutenção de acordo com intervenções de limpeza, com um valor final de 62,02€/m².

A estratégia segundo acções de limpeza apresenta o valor mais económico em comparação com as outras estratégias no caso do revestimento a pedra natural, com um valor de 79,23€/m². As reparações pesadas para este tipo de revestimento representam o custo mais elevado, atingindo os 88,41€/m².

Visto isto e comparando os cinco tipos de revestimentos, todas as estratégias, com a devida excepção para as referentes aos revestimentos de membrana elástica e pedra natural, apresentam valores para o LCC aproximadamente dentro da mesma ordem de grandeza, entre 35,78€/m² e 62,02€/m². O resultado do LCC para a membrana elástica apresenta-se mais baixo, 24,63€/m², proporcionando estratégias muito competitivas, por outro lado os valores provenientes do LCC para o revestimento de pedra natural atingem valores muito elevados.

5.4. DADOS SUJEITOS A SIMULAÇÃO

5.4.1. ENQUADRAMENTO

Como já referido e visto o LCC trabalha com dados exactos, contudo na manutenção de edifícios, em variadíssimas situações não temos certezas dos custos e periodicidades das intervenções nos EFM.

Visto isto, esta parte do trabalho é dedicada à aplicação de incerteza nos dados relativos aos custos e às periodicidades das intervenções, de forma a possibilitar o uso do SIMULA e posterior comparação entre os valores resultantes entre os dois métodos.

5.4.2. APLICAÇÃO DE INCERTEZA AOS DADOS DE FORMA A USAR O SIMULA

O objectivo do trabalho baseia-se na realização de simulações pelo método de Monte Carlo e comparação destas com os valores obtidos pelo LCC.

De forma a se proceder a uma análise de sensibilidade dos resultados provenientes das simulações para as várias estratégias, consideraram-se e realizaram-se as seguintes simulações para cada estratégia a aplicar a cada tipo de revestimento:

Simulação 1

- Tempo e custo das intervenções regidos por funções densidade probabilidade.
- Apresentação das incertezas do ciclo base para as várias estratégias nos quadros 5.7 a 5.11.

Simulação 2

- Tempo e custo das intervenções regidos por funções densidade de probabilidade, mas com menor grau de incerteza que a simulação 1.
- Apresentação das incertezas do ciclo base para as várias estratégias nos quadros 5.12 a 5.16.

5.4.2.1. Simulação 1

Nos quadros 5.8 a 5.12 apresentam-se para cada revestimento os valores de periodicidade e de custo de intervenção com uma densidade de probabilidade de ocorrência, que de certo modo retrata a incerteza associada aos dados.

No anexo B1 figuram os histogramas relativos às durações e aos custos das intervenções de substituição e manutenção inerentes às várias estratégias a aplicar aos diferentes revestimentos.

É de salientar que o único método capaz de moldar este tipo de informação é o processo numérico do Método de Monte Carlo, utilizado pelo SIMULA.

5.4.2.1.1. Aplicação da incerteza para a Simulação 1

Quadro 5.8 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Reboco Monomassa – Simulação 1

EFM	Estratégia	Intervenções de Substituição				Intervenções de Manutenção			
		Ano	Freq (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)	Ano	Freq.(%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)
Reboco Monomassa	Sem Manutenção	12	15	22,50	25	-	-	-	-
		13	35	23,25	40				
		14	40	24,00	35				
		15	10						
	Limpezas	14	10			2	10		
		15	30	22,50	25	3	45	0,75	15
		16	35	23,25	40	4	40	1	45
		17	20	24,00	35	5	5	1,25	40
		18	5						
	Reparações Ligeiras	37	10			3	25	3,25	25
		38	15	22,50	25				
		39	20	23,25	40				
		40	35	24,00	35				
	Reparações Pesadas	41	15			4	40	3,65	40
		42	5						
		20	15	22,50	25				
		21	20	23,25	40				
		22	40	24,00	35	9	40	13,90	40
		23	25						
						10	35	14,25	35

Quadro 5.9 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Membrana Elástica – Simulação 1

EFM	Estratégia	Intervenções de Substituição				Intervenções de Manutenção			
		Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)	Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq.(%)
Membrana Elástica	Sem Manutenção	8	10	9,25	35	-	-	-	-
		9	25		40				
		10	40	10	40				
		11	25	11	25				
	Limpeza	10	20	9,25	35	2	40	0,90	30
		11	25		40	3	40	1,00	45
		12	35	10	40	4	20	1,10	25
		13	20	11	25				
	Reparações Ligeiras	28	10	9,25	35	3	40	2,00	30
		29	20		40	4	40	2,10	45
		30	35	10	40	5	20	2,25	25
		31	20	11	25				
		32	15						
	Reparações Pesadas	14	15	9,25	35	6	30	8,50	35
		15	25		40	7	40	8,90	40
		16	35	10	40	8	30	9,25	25
		17	25	11	25				

Quadro 5.10 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Tinta Plástica – Simulação 1

EFM	Estratégia	Intervenções de Substituição				Intervenções de Manutenção			
		Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)	Ano	Freq.(%)	Custo (€/m ²)	Freq.(%)
Tinta Plástica	Sem Manutenção	3	20	8,00	30	-	-	-	-
		4	25		40				
		5	35	8,50	40				
		6	20	9,00	30				
	Limpezas	5	30	8,00	30	1	70	0,87	30
		6	40	8,50	40	2	30	1,00	40
		7	30	9,00	30			1,13	30
	Reparações Ligeiras	14	30	8,00	30	1	40	2,75	35
		15	40	8,50	40	2	50	2,85	50
		16	30	9,00	30	3	10	3	15
	Reparações Pesadas	7	30	8,00	30	2	30	8,00	30
		8	40	8,50	40	3	40	8,35	40
		10	30	9,00	30	4	30	8,75	30

Quadro 5.11 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Revestimento Cerâmico – Simulação 1

EFM	Estratégia	Intervenções de Substituição				Intervenções de Manutenção			
		Ano	Freq.(%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)	Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)
Revestimento Cerâmico	Sem Manutenção	15	15						
		16	20	25	25				
		17	35	28	40	-	-	-	-
		18	20	30	35				
		19	10						
	Limpezas	18	20	25	25	3	15	4	25
		19	30	28	40	4	35	4,5	40
		20	35	30	35	5	30	5	35
		21	15			6	20		
	Reparações Ligeiras	47	15	25	25	4	15	7	25
		48	20	28	40	5	35	7,75	40
		49	30	30	35	6	35	8,5	35
		50	35			7	15		
	Reparações Pesadas	26	20	25	25	9	15	15,50	25
		27	30	28	40	10	30	15,90	40
		28	35	30	35	11	35	16,25	35
		29	15			12	20		

Quadro 5.12 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Revestimento em Pedra Natural – Simulação 1

EFM	Estratégia	Intervenções de Substituição				Intervenções de Manutenção			
		Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)	Ano	Freq.(%)	Custo (€/m ²)	Freq.(%)
Revestimento em Pedra Natural	Sem Manutenção	25	20	70	30				
		26	30	72,5	40	-	-	-	-
		27	35	75	30				
		28	15						
	Limpezas	30	20	70	30	6	30	6	30
		31	30	72,5	40	7	40	6,5	40
		32	35	75	30	8	30	7	30
		33	15						
	Reparações Ligeiras	75	30	70	30	7	25	14,00	30
		80	40	72,5	40	8	30	14,45	40
		85	30	75	30	9	40	14,75	30
						10	5		
	Reparações Pesadas	42	25	70	30	16	25	34,00	30
		43	30	72,5	40	17	30	34,33	40
		44	35	75	30	18	35	34,50	30
		45	10			19	10		

5.4.2.1.2. Resultados obtidos da Simulação 1

Após efectuadas as simulações com recurso ao programa SIMULA, o output dos resultados finais indicam as periodicidades e custos globais de cada estratégia de intervenção, para o tempo considerado, neste caso para um ano horizonte de 44 anos.

Como já referido anteriormente, nos resultados finais são discriminados e indicados o preço mínimo, médio e máximo de cada estratégia a aplicar a cada revestimento.

- Reboco Monomassa

Analisando os custos das estratégias a aplicar ao reboco monomassa, figura 5.1, vemos que o valor mínimo entre todas as estratégias ocorre na que se rege pelas reparações ligeiras, apresentado um valor de 31,7 €/m² no final dos 44 anos. Por sua vez, é na estratégia regida pelas intervenções de limpeza em que o custo máximo possui maior valor, atingindo os 52,8€/m².

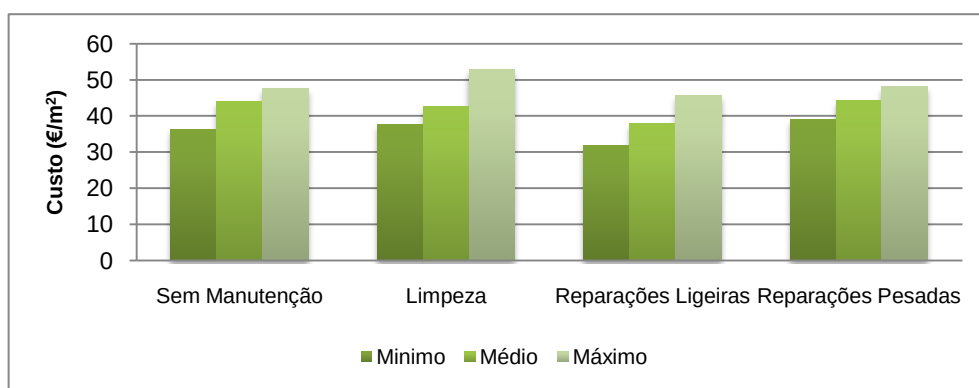


Fig.5.1 – Custo das estratégias a aplicar ao Reboco Monomassa – Simulação 1.

De notar que a maior diferença entre o custo mínimo e máximo acontece na estratégia de limpeza. Por sua vez, o menor intervalo entre estes valores verifica-se na estratégia de reparações pesadas, sendo de 9,3€/m².

- Membrana Elástica

Analisando os dados presentes na figura 5.2, facilmente se verifica que a estratégia que mais se destaca para o revestimento constituído por membrana elástica é aquela a que estão associadas as reparações ligeiras. Nas condições consideradas, para este tipo de revestimento, os valores inerentes às estratégias de manutenção no final dos 44 anos podem oscilar entre 20,1€/m² e 38,4€/m², dependendo da estratégia adoptada.

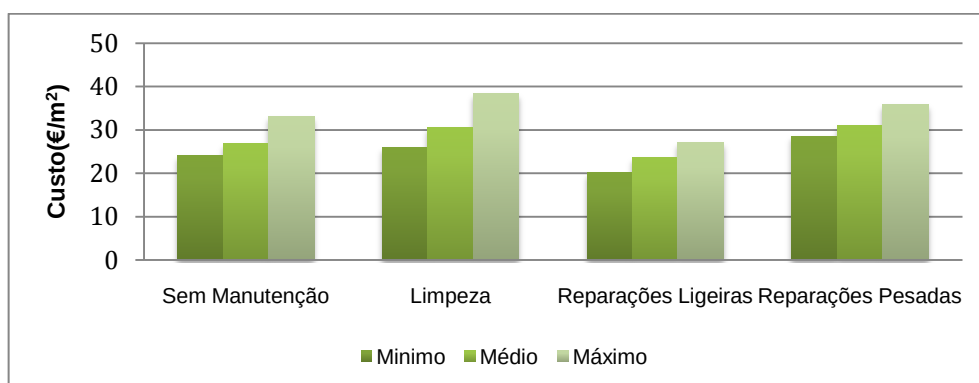


Fig.5.2 – Custo das estratégias a aplicar à Membrana Elástica – Simulação 1.

Como mostra a figura 5.2, para a membrana elástica a menor diferença entre o custo mínimo e máximo ocorre na estratégia desenvolvida por reparações ligeiras, sendo esse intervalo de 7,1€/m².

- Tinta Plástica

Considerando o tempo e custo das intervenções a aplicar na tinta plástica regidos pelas funções densidade de probabilidade apresentado no quadro 5.9, verifica-se que a estratégia com custos referencia mais baixos no final dos 44 de estudo é a que se rege sem manutenção, tal como demonstra a figura 5.3. Assim sendo, o custo mínimo e máximo desta estratégia são respectivamente 33,9€/m² e 59,8€/m². Por sua vez, é na estratégia de reparações ligeiras que o custo máximo é mais elevado, rondando os 69€/m².

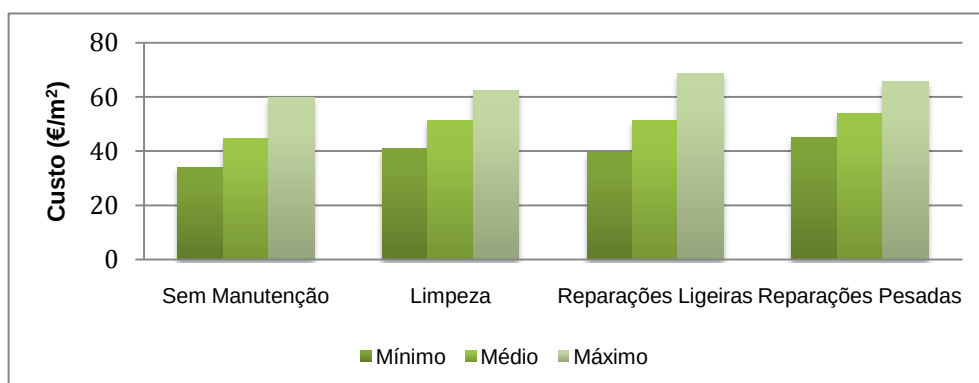


Fig.5.3 – Custo das estratégias a aplicar à Tinta Plástica – Simulação 1.

Como o demonstrado na figura 5.3, para este revestimento é na estratégia de reparações ligeiras que se verifica a maior diferença entre o custo mínimo e o custo máximo, sendo esta de 29,3€/m².

- Revestimento Cerâmico

Neste tipo de simulação, de acordo com a figura 5.4 os custos associados ao revestimento cerâmico podem oscilar entre 41,3€/m² e 74,2€/m², dependendo da estratégia considerada. Contudo, o menor dos

custos mínimos está inerente à estratégia sem manutenção e o mais elevado dos custos máximos reside na estratégia conduzida por operações de limpeza.

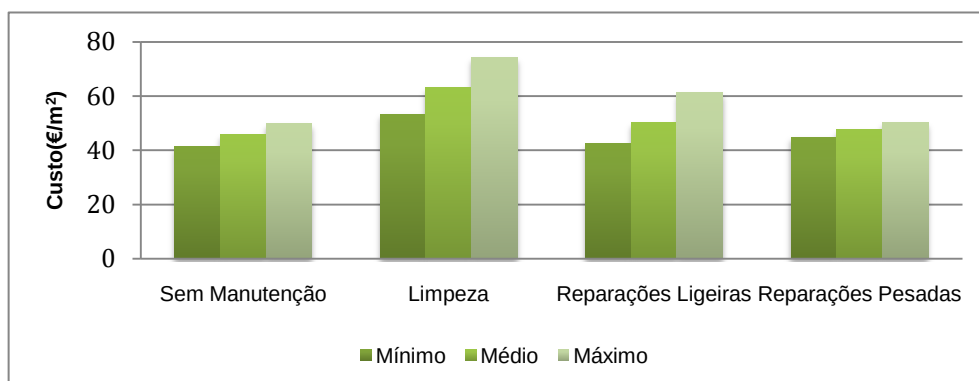


Fig.5.4 – Custo das estratégias a aplicar ao Revestimento Cerâmico – Simulação 1.

Segundo os valores apresentados na figura anterior, para o revestimento cerâmico a menor diferença entre o custo mínimo e máximo é de 5,3€/m², e verifica-se segundo a estratégia de reparações pesadas.

- Revestimento de Pedra Natural

Segundo os dados da simulação realizada e expressos na figura 5.5, para a pedra natural verificou-se que os custos poderiam estar compreendidos entre 72,9€/m² e 103€/m², dependendo do tipo de estratégia adoptada. Mas, por análise dos gráficos verifica-se que o menor dos custos mínimos pertence às reparações pesadas, por sua vez a estratégia de manutenção regida por operações de limpeza acarreta com o maior dos custos máximos.

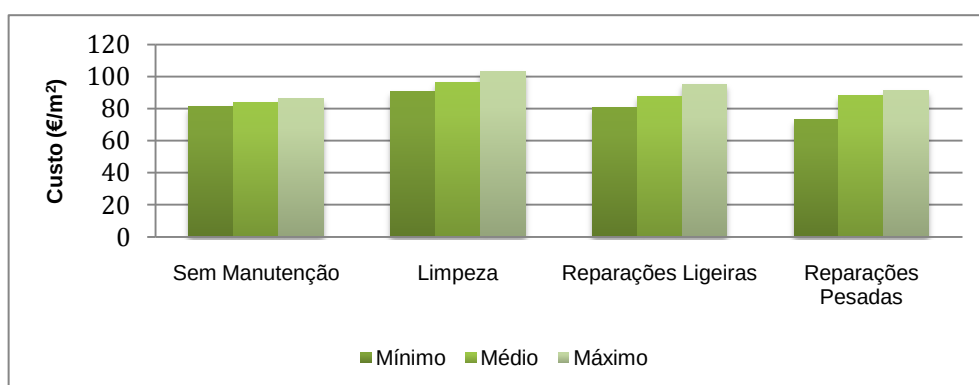


Fig.5.5 – Custo das estratégias a aplicar ao revestimento Pedra Natural – Simulação 1.

Segundo a figura acima apresentada, é de apenas 4,9€/m² a diferença entre o custo mínimo e máximo da estratégia sem manutenção no final dos 44 anos de estudo.

5.4.2.2. Simulação 2

A simulação 2 foi realizada com o objectivo de tentar mostrar como variam os custos finais quando estamos a trabalhar com funções densidade de probabilidade mais estreitas, isto é, onde as incertezas são menores. Desta forma, realizou-se uma nova aplicação de incertezas nos valores do ciclo base, estando as novas funções densidade de probabilidade inerentes a cada estratégia expostas nos quadros 5.13 a 5.17.

5.4.2.2.1. Aplicação da incerteza para a Simulação 2

Quadro 5.13 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Reboco Monomassa – Simulação 2

EFM	Estratégia	Intervenções de Substituição				Intervenções de Manutenção			
		Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)	Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)
Reboco Monomassa	Sem Manutenção	13	50	23,00	40	-	-	-	-
		14	50	23,50	60	-	-	-	-
	Limpezas	15	30	23,00	40	3	50	1,00	60
		16	40	23,50	60	4	50	1,25	40
		17	30						
	Reparações Ligeiras	39	30	23,00	40	4	60	3,50	30
		40	40	23,50	60	5	40	3,75	70
		41	30						
	Reparações Pesadas	21	30	23,00	40	9	60	13,85	60
		22	40	23,50	60	10	40	14,10	40
		23	30						

Quadro 5.14 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções na Membrana Elástica – Simulação 2

EFM	Estratégia	Intervenções de Substituição				Intervenções de Manutenção			
		Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)	Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)
Membrana Elástica	Sem Manutenção	9	30	9,50	40	-	-	-	-
		10	40	10,50	60	-	-	-	-
		11	30						
	Limpezas	12	60	9,50	40	2	50	0,95	40
		13	40	10,50	60	3	50	1,10	60
	Reparações Ligeiras	29	30	9,50	40	3	50	2,00	50
		30	40	10,50	60	4	50	2,20	50
		31	30						
	Reparações Pesadas	15	30	9,50	40	7	60	8,75	50
		16	40	10,50	60	8	40	9,00	50
		17	30						

Quadro 5.15 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções na Tinta Plástica – Simulação 2

EFM	Estratégia	Intervenções de Substituição				Intervenções de Manutenção			
		Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)	Ano	Freq.(%)	Custo (€/m ²)	Freq.(%)
Tinta Plástica	Sem Manutenção	4	30	8,0	50	-	-	-	-
		5	40	9,0	50	-	-	-	-
		6	30						
	Limpezas	5	40	8,0	50	1	70	0,95	50
		6	60	9,0	50	2	30	1,05	50
	Reparações Ligeiras	14	40	8,0	50	1	50	2,80	50
		15	60	9,0	50	2	50	2,90	50
	Reparações Pesadas	7	40	8,0	50	2	40	8,00	30
		8	60	9,0	50	3	60	8,50	70

Quadro 5.16 – Aplicação de incerteza nos dados das intervenções no Revestimento Cerâmico – Simulação 2

EFM	Estratégia	Intervenções de Substituição				Intervenções de Manutenção			
		Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)	Ano	Freq.(%)	Custo (€/m ²)	Freq.(%)
Revestimento Cerâmico	Sem Manutenção	16	30	26,0	45	-	-	-	-
		17	40	29,0	55	-	-	-	-
		18	30						
	Limpezas	19	40	26,0	45	4	50	4,00	45
		20	60	29,0	55	5	50	5,00	55
	Reparações Ligeiras	49	30	26,0	45	5	50	7,50	40
		50	70	29,0	55	6	50	8,00	60
	Reparações Pesadas	27	30	26,0	45	10	40	15,50	25
		28	40	29,0	55	11	60	16,00	75
		29	30						

Quadro 5.17 – Aplicação de incerteza nos dados Revestimento a Pedra Natural – Simulação 2

EFM	Estratégia	Intervenções de Substituição				Intervenções de Manutenção			
		Ano	Freq. (%)	Custo (€/m ²)	Freq. (%)	Ano	Freq.(%)	Custo (€/m ²)	Freq.(%)
Revestiment o em Pedra Natural	Sem Manutenção	26	30	70,00	40	-	-	-	-
		27	40	75,00	60	-	-	-	-
		28	30						
	Limpezas	31	30	70,00	40	6	50	6,00	50
		32	40	75,00	60	7	50	7,00	50
		33	30						
	Reparações Ligeiras	80	60	70,00	40	8	40	14,00	25
		82	40	75,00	60	9	60	14,50	75
	Reparações Pesadas	43	40	70,00	40	17	30	34,00	30
		44	60	75,00	60	18	70	34,50	70

5.4.2.2. Resultados obtidos da Simulação 2

- Reboco Monomassa

Segundo os resultados da simulação 2 para o reboco monomassa, figura 5.6, o menor dos custos mínimos é de 34,4€/m² e está associado às reparações ligeiras. Na estratégia regida pelas reparações pesadas verifica-se o valor mais elevado dos custos máximos, sendo este 46,3€/m².

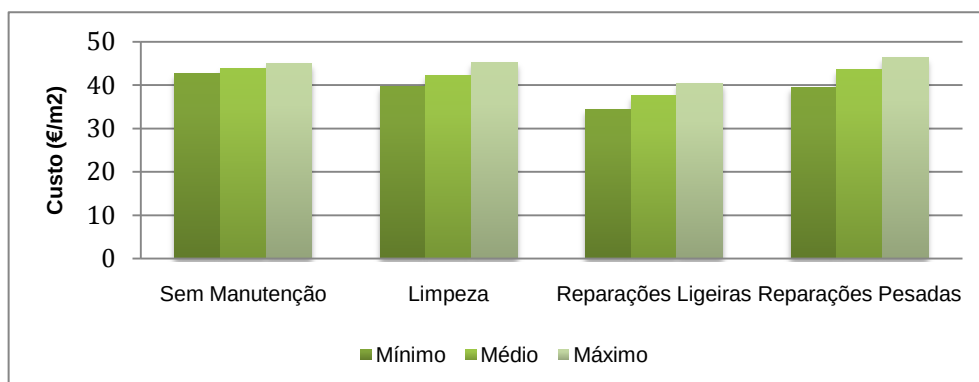


Fig.5.6 – Custo das estratégias a aplicar ao Reboco Monomassa – Simulação 2.

Como mostra a figura 5.6, para este tipo de revestimento, o menor intervalo entre o custo mínimo e máximo é de apenas 2,3€/m² no final dos 44anos, e ocorre segundo a estratégia sem manutenção.

- Membrana Elástica

No que diz respeito à membrana elástica e de acordo com a figura 5.7, a estratégia que possui um custo mínimo mais baixo é aquela que se rege pelas reparações ligeiras, sendo este valor de 22,4€/m². Por sua vez, o custo máximo mais elevado esta associado à estratégia de limpezas, sendo este de 33,7€/m².

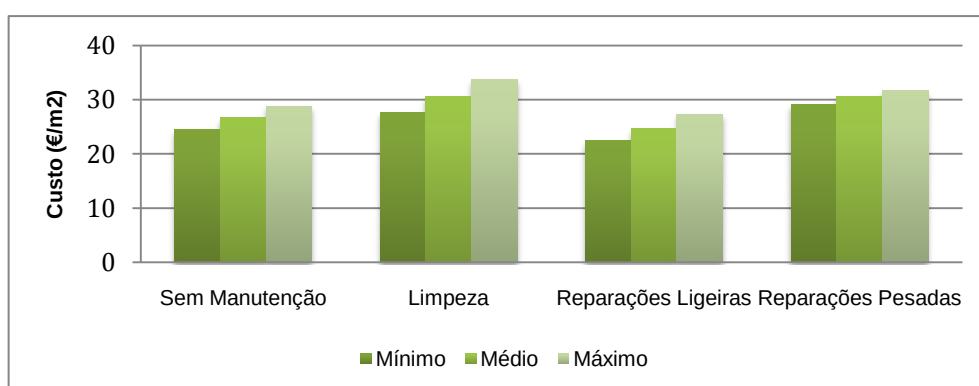


Fig.5.7 – Custo das estratégias a aplicar à Membrana Elástica – Simulação 2.

Tendo por base os resultados da simulação 2, é segundo a estratégia desenvolvida de acordo com as reparações pesadas onde se verifica a menor diferença entre o maior e menor custo para o revestimento com membrana elástica, sendo esta de apenas 2,6€/m².

- Tinta Plástica

Relativamente à tinta plástica, na figura 5.8 a estratégia sem manutenção apresenta-se em destaque por possuir os custos mínimo, médio e máximo mais baixos, sendo estes de 33,5€/m², 41€/m² e 50,6€/m² respectivamente. Também se pode ver na mesma figura que o maior dos custos máximos se verifica nas reparações ligeiras e o seu valor é de 71,9€/m².

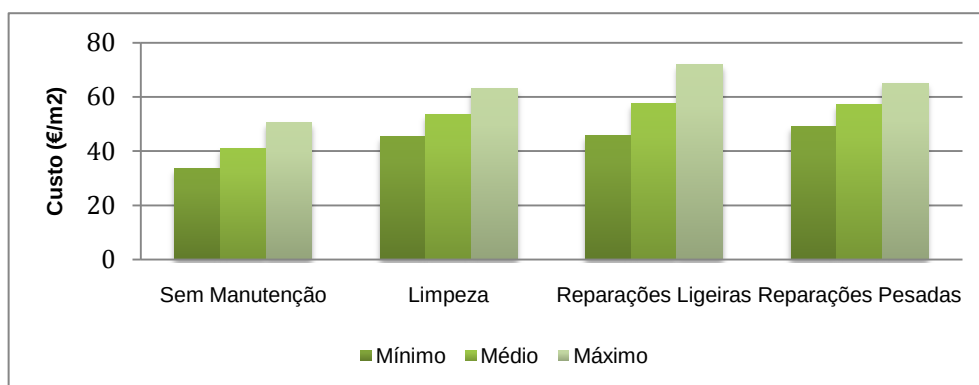


Fig.5.8 – Custo das estratégias a aplicar à Tinta Plástica – Simulação 2.

Ainda analisando a figura acima relativa à tinta plástica, verifica-se que o menor intervalo entre o custo mínimo e máximo acontece segundo as reparações pesadas, sendo esse de 15,9€/m². Por sua vez, o maior intervalo dá-se segundo as reparações ligeiras e é de 26,2€/m².

- Revestimento Cerâmico

No que diz respeito ao revestimento cerâmico, dos dados saídos da simulação 2 e expressos na figura 5.9, os menores dos custos mínimo, médio, e máximo estão associados à estratégia regida sem operações de manutenção, sendo estes respectivamente de 43,1€/m², 45,5€/m² e 47,9€/m². Por sua vez, é na estratégia governada por acções de limpeza que se verifica o custo máximo mais elevado, chegando este aos 68,8€/m².

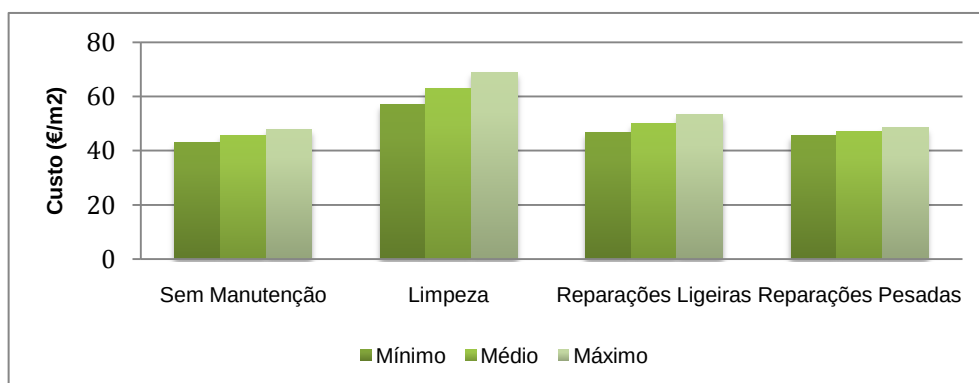


Fig.5.9 – Custo das estratégias a aplicar ao Revestimento Cerâmico – Simulação 2.

De salientar que diferença mais pequena entre o custo máximo e o custo mínimo se verifica na estratégia de reparações pesadas, sendo o tamanho do intervalo de $2,8\text{€/m}^2$.

- Revestimento em Pedra Natural

Como se vê na figura 5.10, para cada uma dos quatro tipo de estratégias a aplicar ao revestimento em pedra natural, a variação entre o custo mínimo e máximo é pequena. É na estratégia sem manutenção que se verifica o mais baixo dos custos mínimos, apresentando-se este com $81,2\text{€/m}^2$, por sua vez o mais elevado dos custos máximos reside na estratégia governada pelas acções de limpeza, chegando aos $102,7\text{€/m}^2$ no final dos 44 de simulação.

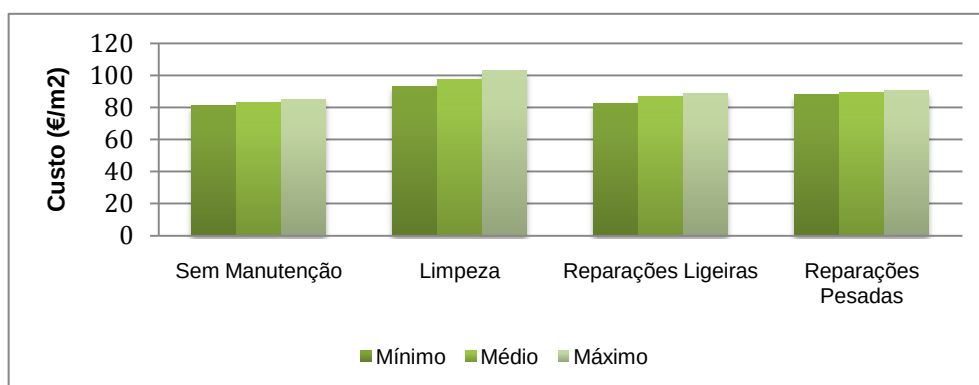


Fig.5.10 – Custo das estratégias aplicar ao Revestimento em Pedra Natural – Simulação 2

Para este tipo de revestimento e segundo o expresso na anterior, a menor diferença entre o custo máximo e o custo mínimo ocorre na estratégia regida pelas reparações pesadas, sendo intervalo de $2,5\text{€/m}^2$.

5.5. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

5.5.1. ENQUADRAMENTO

Nesta parte procura-se fazer uma comparação entre os resultados provenientes pelo método de cálculo regido pelo *Life Cycle Cost* com os resultados proveniente das simulações realizadas pelo SIMULA.

Como se constatou ao longo deste trabalho, os dados obtidos entre os dois métodos apresentam significativas variações, sendo objecto de análise neste ponto a quantificação das variações verificadas.

Como já referido e visto, com o LCC os resultados de cada estratégia a aplicar aos vários tipos de revestimentos considerados apresentam um único valor para o custo final, por sua vez com a análise pelo SIMULA os custos finais são apresentados segundo o valor mínimo, médio e máximo para cada estratégia inerente aos vários tipos de revestimentos.

De forma a comparar os resultados dos custos finais para cada estratégia a aplicar aos vários revestimentos, vai-se quantificar a variação entre o valor proveniente do LCC e os custos resultantes do método de Monte Carlo.

5.5.2. REBOCO MONOMASSA

Para o reboco monomassa, segundo os dados obtidos e expressos no quadro 5.18, verifica-se que tanto na simulação 1 como na simulação 2, a maior variação entre o valor do LCC e o custo médio ocorre na estratégia regida pelas reparações ligeiras, apresentando uma variação de 5,6% e 5,1% do valor do LCC.

Quadro 5.18 – Custos finais das estratégias e suas variações em relação ao valor do LCC

Simulações	Estratégias	Custo Mínimo (€/m ²)	Variação (%)	Custo Médio (€/m ²)	Variação (%)	Custo Máximo (€/m ²)	Variação (%)
Simulação 1	Sem manutenção	36,1	-18,0	44,0	-0,1	47,5	7,9
	Limpezas	37,5	-7,2	42,7	5,5	52,8	30,4
	Reparações Ligeiras	31,7	-11,3	37,8	5,6	45,6	27,4
	Reparações Pesadas	38,9	-13,9	44,2	-2,1	48,2	6,7
Simulação 2	Sem manutenção	42,6	-3,6	43,9	-0,9	45,0	1,7
	Limpezas	39,7	-1,8	42,2	4,4	45,2	11,7
	Reparações Ligeiras	34,4	-3,8	37,6	5,1	40,3	12,7
	Reparações Pesadas	39,4	-12,7	43,6	-3,4	46,3	2,6

Tal como seria de esperar as variações de valores são maiores na simulação 1 que na simulação 2, pois nesta ultima, as funções densidade de probabilidade do ciclo inicial das várias estratégias eram mais estreitas, isto é, com menos incerteza nos dados.

É na estratégia regida pelas reparações pesadas que na simulação 1 se verifica o menor de intervalo de valores para os custos finais. Contudo, quando se realiza a simulação com menor incerteza no ciclo inicial, caso da simulação 2, o menor intervalo entre os custos finais passa a estar associado a estratégia sem manutenção.

5.5.3. MEMBRANA ELÁSTICA

De acordo com os resultados saídos das simulações, verifica-se que nas quatro estratégias a aplicar à membrana elástica apresentadas no quadro 5.19, as diferenças entre os custos médios e os respectivos valores do LCC são pequenas, chegando mesmo na simulação 2 a estratégia regida pelas reparações ligeiras apresentar uma variação nula.

Quadro 5.19 – Custos finais das estratégias e suas variações em relação ao valor do LCC

Simulações	Estratégias	Custo Mínimo (€/m ²)	Variação (%)	Custo Médio (€/m ²)	Variação (%)	Custo Máximo (€/m ²)	Variação (%)
Simulação 1	Sem manutenção	24,0	-9,3	26,8	1,1	33,2	25,2
	Limpezas	25,9	-11,6	30,6	4,3	38,4	30,8
	Reparações Ligeiras	20,1	-18,3	23,6	-4,2	27,2	10,4
	Reparações Pesadas	28,6	-6,6	30,9	1,2	35,9	17,3
Simulação 2	Sem manutenção	24,4	-7,8	26,7	0,7	28,8	8,7
	Limpezas	27,6	-5,9	30,6	4,3	33,7	14,9
	Reparações Ligeiras	22,4	-9,0	24,6	0,0	27,3	11,0
	Reparações Pesadas	29,1	-4,8	30,5	-0,3	31,7	3,5

Apesar de na simulação 2 o valor do custo médio da estratégia regida pelas reparações ligeiras ser idêntico ao obtido pelo LCC, é nas reparações pesadas que se verificam as menores variações do custo mínimo e máximo. Tal como no caso anterior, para todas as estratégias consideradas o intervalo de valores da simulação 2 é mais pequeno que o intervalo proveniente da simulação 1.

5.5.4. TINTA PLÁSTICA

No caso da tinta plástica, de acordo com o quadro 5.20, na simulação 1 verifica-se que a menor variação entre os resultados do LCC e os custos médios recai na estratégia regida pelas acções de limpeza, representando essa variação um aumento de 4,2% do valor do LCC. Por sua vez, na simulação 2 o menor destes valores está associado a estratégia sem manutenção, sendo então a variação de 1,9%.

Quadro 5.20 – Custos finais das estratégias e suas variações em relação ao valor do LCC

Simulações	Estratégias	Custo Mínimo (€/m ²)	Variação (%)	Custo Médio (€/m ²)	Variação (%)	Custo Máximo (€/m ²)	Variação (%)
Simulação 1	Sem manutenção	33,9	-15,7	44,8	11,5	59,8	48,8
	Limpezas	40,9	-16,9	51,3	4,2	62,2	26,4
	Reparações Ligeiras	39,4	-18,9	51,5	6,0	68,7	41,4
	Reparações Pesadas	45,2	-11,9	53,8	4,8	65,9	28,4
Simulação 2	Sem manutenção	33,5	-16,6	41,0	1,9	50,6	26,0
	Limpezas	45,4	-7,8	53,4	8,4	63,1	28,2
	Reparações Ligeiras	45,7	-6,0	57,5	18,3	71,9	47,9
	Reparações Pesadas	49,1	-4,2	57,2	11,6	65,0	26,8

Como demonstra o quadro 5.20, a variação entre os valores do LCC e os custos médios apenas diminui, quando se passa da simulação 1 para a simulação 2, na estratégia sem manutenção, ditando que esta se aproxima então do valor do LCC. Contudo, para as restantes estratégias verificou-se uma diminuição das variações entre o valor do LCC e os custos mínimos, e mais importante ainda, uma diminuição dos intervalos entre os custos mínimos e máximo de cada estratégia.

5.5.5. REVESTIMENTO CERÂMICO

No que diz respeito ao revestimento cerâmico, segundo o quadro 5.21, na simulação 1 é com a estratégia regida sem acções de manutenção que se obtém a menor variação entre o custo resultante do LCC e os custos médios, sendo esta apenas de 0,2%. Por sua vez, na simulação 2 é a estratégia regida pelas reparações pesadas que se apresenta com as variações mais pequenas.

Quadro 5.21 – Custos finais das estratégias e suas variações em relação ao valor do LCC

Simulações	Estratégias	Custo Mínimo (€/m ²)	Variação (%)	Custo Médio (€/m ²)	Variação (%)	Custo Máximo (€/m ²)	Variação (%)
Simulação 1	Sem manutenção	41,3	-9,7	45,8	0,2	50,0	9,3
	Limpezas	53,4	-14,0	63,0	1,7	74,2	19,6
	Reparações Ligeiras	42,3	-12,5	50,2	3,8	61,3	26,6
	Reparações Pesadas	44,9	-4,8	47,6	0,9	50,1	6,4

Simulação 2	Sem manutenção	43,0	-5,9	45,5	-0,6	47,8	4,5
	Limpezas	56,9	-8,2	62,8	1,3	68,8	11,0
	Reparações Ligeiras	46,6	-3,7	50,1	3,5	53,3	10,1
	Reparações Pesadas	45,7	-3,0	47,2	0,2	48,5	3,0

Neste tipo de revestimento verificou-se que da simulação 1 para a simulação 2 as variações dos custos finais sofreram diminuições. Contudo, é necessário realçar que na simulação 1 a estratégia sem manutenção possui uma variação positiva de 0,2%, passando na simulação 2 a possuir uma variação negativa de 0,6%.

5.5.6. REVESTIMENTO A PEDRA NATURAL

Para o revestimento em pedra natural, e tendo em conta a simulação 1, a menor variação inerente ao custo médio reside na estratégia de reparações pesadas, sendo a variação de 0,6%. Todavia analisando os valores referentes à simulação 1 expressos no quadro 5.22, verifica-se que o menor intervalo entre as variações inerentes ao custo mínimo e máximo reside na estratégia sem manutenção.

Quadro 5.22 – Custos finais das estratégias e suas variações em relação ao valor do LCC

Simulações	Estratégias	Custo Mínimo (€/m ²)	Variação (%)	Custo Médio (€/m ²)	Variação (%)	Custo Máximo (€/m ²)	Variação (%)
Simulação 1	Sem manutenção	81,2	-2,3	83,7	0,7	86,1	3,7
	Limpezas	77,7	-1,9	83,6	5,5	90,0	13,4
	Reparações Ligeiras	80,9	-2,7	87,8	5,6	95,4	14,7
	Reparações Pesadas	72,9	-17,5	87,9	-0,6	91,5	3,5
Simulação 2	Sem manutenção	81,2	-2,3	83,3	0,2	85,1	2,4
	Limpezas	80,2	1,2	84,5	6,7	89,7	13,2
	Reparações Ligeiras	82,3	-1,0	86,7	4,2	88,8	6,8
	Reparações Pesadas	87,7	-0,8	88,9	0,6	90,2	2,1

Na simulação 2 a menor variação referente ao custo médio incidiu na estratégia sem manutenção, apresentando esta apenas 0,2%. No que respeita ao menor intervalo entre as variações do custo mínimo e máximo, na simulação 2 destaca-se a estratégia regida pelas reparações pesadas.

É de salientar o facto de na simulação 2, o valor do custo mínimo para a estratégia sem manutenção resultante do SIMULA estar acima do valor calculado pelo LCC. Esta situação deve-se à incerteza atribuída a esta estratégia e à forma como esta condiciona o resultado final.

5.5.7. COMPARAÇÃO FINAL ENTRE REVESTIMENTOS

Tendo sido realizadas as várias comparações entre as quatro estratégias a aplicar aos diferentes tipos de revestimentos estudados, é objectivo deste ponto a análise por intermédio dos resultados das simulações efectuadas, de qual o revestimento e estratégia a ele inerente que se revela mais económico no final dos 44 anos de estudo. Para simplificação, considerou-se que a estratégia a aplicar a cada revestimento era a que se apresentava com valor mais baixo segundo os dados resultantes do LCC.

Visto isto, associaram-se os custos provenientes do SIMULA às ditas estratégias mais económicas, segundo o LCC, e procedeu-se a comparação final entre revestimentos.

As comparações são realizadas com base nos resultados da simulação 1, pois a esta estão associados os maiores níveis de incerteza, o que para este efeito se apresenta mais relevante.

Na figura 5.11 apresentam-se os cinco tipos de revestimentos associados à respectiva estratégia, onde a estes estão associados os custos do LCC e os resultados do SIMULA. Com é possível verificar na figura, para os valores da simulação 1 de forma a representar o intervalo entre o custo mínimo e máximo, associou-se aos valores do custo médio uma linha de incerteza.

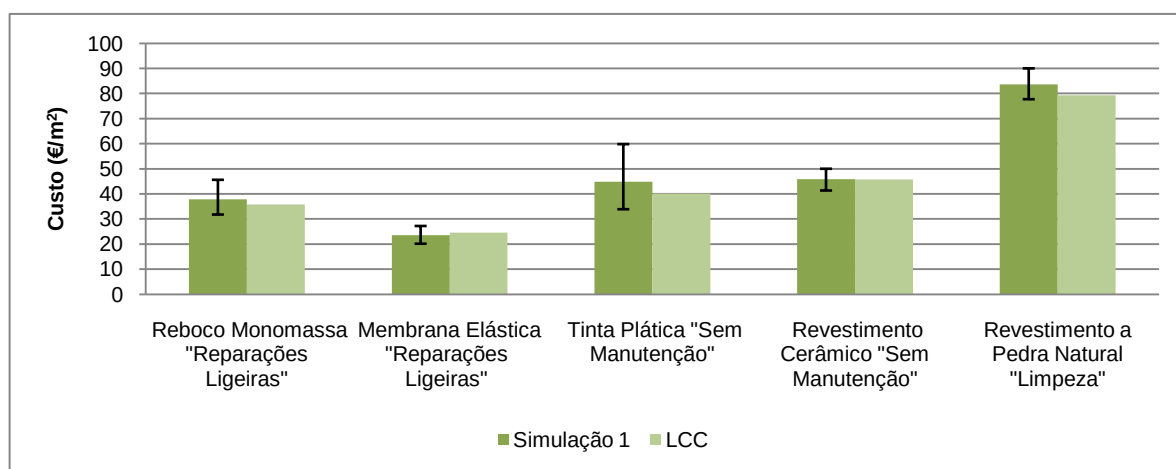


Fig.5.11 – Comparação entre revestimentos, tendo em conta os resultados do SIMULA e LCC.

Por análise da figura acima representada, é possível constatar que o revestimento a Membrana Elástica regido por uma estratégia de reparações ligeiras, no final dos 44 anos se apresenta mais económico em relação aos restantes revestimentos, de acordo tanto pelos resultados do LCC como pelos da simulação1, pois o custo máximo deste não chega a intersectar o mínimo de qualquer um dos restantes. Por sua vez, e também sem margem para dúvidas, o revestimento a Pedra Natural apresenta-se como a solução mais dispendiosa. No que diz respeito aos restantes três revestimentos, nota-se que o que pode apresentar o custo mais baixo e mais alto é a Tinta Plástica, ficando isto a dever-se ao seu maior grau de incerteza em relação aos restantes. Desta forma, estes três tipos de soluções necessitavam de uma análise probabilística mais profunda de forma a proceder à escolha mais razoável, mas como é possível verificar o conjunto composto pelo Revestimento Cerâmico segundo uma estratégia Sem Manutenção é o que apresenta uma menor incerteza.

É de salientar o facto de o valor do LCC para os todos os revestimentos estarem dentro do intervalo de custos resultantes do SIMULA, chegando mesmo para o caso do Revestimento Cerâmico regido pela estratégia sem manutenção, a apresentar um valor muito idêntico com o valor médio resultante da simulação.

5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DE CAPÍTULO

Com a realização desta parte da dissertação foi possível abordar e analisar alguns aspectos fundamentais da manutenção de determinados EFM, mais precisamente a nível dos custos e das periodicidades das intervenções.

Como se verificou, algumas actividades inerentes à manutenção de edifícios possuem incerteza ao nível dos custos e periodicidade das suas operações. Devido a este facto e à presença de aleatoriedade das operações, os resultados provenientes do LCC para um determinado ano horizonte podem apresentar pequenas variações comparativamente com o que se verifica na realidade.

Como se verificou nos dois tipos de simulações realizadas, existem diferenças, embora pequenas, na estimativa de custos das estratégias consideradas, quando se realiza o cálculo pelo LCC ou pelo SIMULA. Na maioria das simulações, os resultados do LCC mostraram pequena variação em relação ao custo médio, tal como seria espectável.

Com foi possível constatar na simulação 1, onde se considerou uma incerteza superior à incerteza dos dados usados na simulação 2, os dados da simulação 1 apresentavam na grande generalidade uma maior variação em relação ao valor do LCC. Com esta constatação facilmente se conclui que quanto menor a incerteza dos dados, menor será a variação de valores entre os custos mínimo, médio e máximo, devendo estar o valor do LCC no interior do intervalo.

.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notório a nível nacional uma grande necessidade de requalificação dos imóveis existentes, sendo mesmo fulcral em certas situações a implementação de medidas de intervenção urgentes sobre os mesmos. A aplicação das operações de Manutenção deve ser iniciadas na fase de promoção dos edifícios e prolongada durante toda a sua vida útil.

A baixa formação da maioria dos intervenientes na construção, aliada à deficiência de registos e informações das soluções construtivas usadas nos edifícios, conduz a que por várias vezes seja desconhecida a durabilidade de muitos materiais usados na construção, assim como as periodicidades das operações de manutenção a eles inerentes.

O comportamento dos elementos constituintes dos edifícios deve ser estudado com o máximo de rigor, o que por vezes se torna uma tarefa árdua. Como se verificou, mais de quarenta por cento dos erros que ocorrem na construção tem origem na fase de projecto. Este género de erros, em determinadas circunstâncias podem conduzir os EFM a atingir determinadas taxas de falha. Apesar de intuitivamente se saber como se comporta a probabilidade de ocorrência de falhas ao longo do tempo, a sua exacta localização temporal é de impossível pré-conhecimento, o que de certa forma condiciona o estudo do comportamento dos EFM.

Quando se trabalha com as incertezas associadas às periodicidades e encargos financeiros das actividades de manutenção, o SIMULA, programado com base no Método de Monte Carlo, revela-se com uma ferramenta bastante útil, pois permite a realização de simulações técnico-económicas por meio bastante simples e rápido.

O ciclo base, o tempo de simulação e a incerteza dos dados, podem ser considerados com os três pilares fundamentais do SIMULA, sendo que a variação de algum destes pontos provoca variações nos resultados finais.

É de fácil constatação que os ciclos de substituição são fortemente influenciados pela forma como se desenvolvem as operações de manutenção. O início e o fim destas operações ditam quando se deve proceder à substituição dos EFM, sendo de salientar que os ciclos de manutenção podem ter sempre as mesmas características ao longo do tempo de simulação, ou então podem variar de acordo com as necessidades com que se vão deparando. Neste último caso, a sua simulação torna-se mais complexa.

O SIMULA apesar do conjunto de vantagens que possui apresenta algumas lacunas que se verificaram ser importantes no estudo comportamental dos edifícios. Este software, devido à forma como actualmente se encontra programado, aborda as operações de manutenção e as acções de substituição de forma independente, não considerando as influências que as intervenções de manutenção podem causar nas actividades de substituição. Um outro aspecto onde se torna notória a falta de dependência entre estas actividades é verificado quando o programa continua com o calculo do mesmo ciclo referente às operações de manutenção quando se procede a uma substituição, não considerando a interrupção e recomeço das operações de manutenção.

Relativamente à incerteza inerentes às operações, como foi possível verificar no capítulo 4, quanto mais pequenos forem os ciclos de intervenção de uma operação de manutenção, maior a incerteza do número das intervenções necessárias ao longo do tempo de simulação. Quando se compara um determinado ciclo base com outro ciclo em idênticas condições, mas este com maior incerteza nos dados, verifica-se que no final do tempo de simulação, a diferença de incertezas entre os dois ciclos vai ser muito mais notória, conduzindo a que o intervalo entre o custo mínimo e máximo seja maior no ciclo com incerteza mais elevada.

No âmbito da aplicação do modelo de simulação estudado, capítulo 5 da presente dissertação, foi possível proceder à comparação entre os custos finais para quatro tipo de estratégias de manutenção a aplicar a vários tipos de revestimento de fachadas, tendo em conta o cálculo pelo métodos do *Life Cycle Cost* e pelo SIMULA. Como se constatou, do LCC resulta apenas um valor para o custo final para cada estratégia, por sua vez o SIMULA fornece o valor referente ao custo mínimo, médio e máximo. Geralmente, para cada estratégia, o custo final do LCC apresenta-se dentro do intervalo de valores resultantes do SIMULA, apresentando na maioria dos casos valores aproximados com os custos médios provenientes das simulações.

A incerteza inerente aos dados, tanto a nível das periodicidades como também a nível dos custos, possui uma grande influência sobre os resultados finais. Tal facto se verificou quando se desenvolveu os dois tipos de simulações para as diferentes estratégias a aplicar aos cinco tipos de revestimentos considerados, em que os valores usados na simulação 1 possuíam uma dose mais elevada de incerteza quando comparados com os utilizados na simulação 2. Desta forma, na simulação 2, os resultados de custos associados às várias estratégias apresentavam uma menor variação quando confrontados com os resultados da simulação 1.

Desta forma, toma-se consciência da importância das ponderações técnico-económicas relacionadas com as operações de manutenção a aplicar aos elementos construtivos usados nos edifícios, e que a estas podem estar associadas incertezas de vários graus. Estas ponderações deveram ser realizadas na fase inicial da actividade construtiva, de forma a serem consideradas no acto de elaboração do plano de manutenção.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Segundo o estudo realizado é de total interesse para desenvolvimento futuro, ter conhecimento pleno de como os elementos/componentes dos edifícios se comportam ao longo da sua vida útil. Para um melhor planeamento das operações de manutenção, torna-se preponderante ter consciências que a estas podem estar associadas incertezas capazes de influenciar os resultados finais.

Para se proceder à simulação do comportamento de elementos usados na construção civil, revela-se estritamente importante conhecer as necessidades destes no âmbito da manutenção. Nos dias correntes,

a falta de informação inerente as periodicidades e custos das intervenções tem-se revelado como uma lacuna que terá de ser resolvida rapidamente. A criação de uma plataforma onde se pode-se expor e partilhar informação das necessidades de manutenção dos diversos elementos usados na construção, talvez se apresente como uma boa solução.

Os tipos de materiais usados na construção e a forma como determinados trabalhos são elaborados, deveriam ser repensados. Nas construções futuras, os projectistas juntamente com os restantes responsáveis nesta área, deveriam optar pelo uso de materiais que apresentem melhor resposta às funções que iram desempenhar e cujo desenrolar do seu comportamento seja conhecido *à priori*. Contudo, para um bom conhecimento das necessidades de manutenção de certos materiais torna-se fulcral intervir junto dos fabricantes, e sensibilizar estes a fornecer a informação necessária para o desenvolvimento de um bom comportamento dos materiais.

No desenrolar da presente dissertação utilizou-se o Software SIMULA. Ao longo da utilização do referido programa, foram verificados alguns aspectos relacionados com a forma como este se encontra programado, e que de certo modo inviabilizam a realização correcta de alguns tipos de simulações. O facto de o SIMULA não considerar que o ciclo das operações de manutenção de um determinado EFM deve terminar e ser iniciado um ciclo novo no momento em que se dá a substituição do referido EFM, pode influenciar o resultado final. Também, nas situações em que se desenvolva um período de carência entre as operações de manutenção, o programa não se encontra preparado para identificar este tipo de situações, funcionando apenas baseado nas características do ciclo inicial.

Visto isto, os problemas verificados no uso do SIMULA deveriam ser analisados mais em pormenor, e se possível intervir em certos pontos da sua programação, de forma a possibilitar em certas situações uma abordagem mais realista dos dados iniciais conhecidos.

De forma a entender melhor a influencia dos ciclos base, do tempo de simulação e da incerteza dos dados, devem-se realizar análises de sensibilidade, variando cada um destes aspectos e concluindo se algum destes factores possui maior relevo e influência sobre os resultados finais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[AGUIAR *et al*, 1997]

Aguiar, J., Cabrita, A., Appleton, J., *Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais*, Volume 2, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1997.

[ARBIZZANI, 1991]

Arbizzani, E., *Tecnologie per la Manutenzione dei Patrimoni Immobiliari e delle Reti*. ICIE- Istituto Cooperativo per l'Innovazione, 1991. *Apud* [Flores, 2002]

[ARDITI, 2003]

Arditi, D., *Issues in Building Maintenance: Property Managers' Perspective*. Journal of Architectural Engineering, Vol. 5, No. 4, Dezembro de 2003.

[BABOR *et al*, 2008]

Babor, D., Plian, D., *Maintenance Planning for Historic Buildings*. Gheorghe Asachi", Technical University, Jassy. Department of Concrete, Materials, Technology and Management. 2008.

[BCSD, 2004]

BCSD Portugal, Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. *Reabilitação: A Melhor Solução para o Desenvolvimento Sustentável*, 2004.

<http://www.bcsdportugal.org/files/268.pdf> (19/03/2010)

[BS 8311:1984]

BSI- Building Standards Institution. *Glossary of Maintenance Management Terms in Terotechnology*, BSI; London, 1984.

[CALEJO, 1989]

Calejo, R., *Manutenção de Edifícios – Análise e exploração de um banco de dados sobre um parque habitacional*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1989.

[CALEJO, 2001]

Calejo, R., *Gestão de Edifícios – Modelo de Simulação Técnico-Económica*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2001.

[CALEJO, 2008]

Calejo, R., *Gestão de Edifícios – Gestão do Património Edificado*. Curso de Pós-Graduação em Gestão Imobiliária, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

[COIAS, 2006]

Cóias, V., *Inspecções e Ensaaios na Reabilitação de Edifícios*. IST PRESS, Lisboa, 2006.

[COIAS, 2008]

Cóias, V. *Inspecção e Reabilitação de Edifícios - Inspecções e Ensaios de Edifícios Recentes*. Seminário da ordem dos Engenheiros. 27 de Novembro de 2008. http://www.ordemengenheiros.pt/estruturas/InspReabEdif_2008-I&E_Edif%20Recentes.pdf. (22/02/2010).

[COLLEN, 2003]

Collen, I., *A Manutenção Periódica de Edifícios*. Estudo para a PLANETCAdestudos, Companhia de Arquitectura e Design. http://www.ikaza.com.pt/PresentationLayer/ResourcesUser/Documents/estudos/STUDY_Manut_Per_Edificios.pdf (22/02/2010)

[COSTA, 2009]

Costa, J., *A Indústria da Construção Civil*. Apontamentos da disciplina de Qualidade na Construção, Secção de Construções Civas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

[EUROCONSTRUCT, 2008]

65ª Conferência do Euroconstruct, Roma, Junho 2008
<http://www.euroconstruct.org/conference/lastevent.php#65> (2/06/2010)

[FARIA, 2004]

Faria, J., *Sistemas Construtivos de Edifícios*. Apontamentos da disciplina de Tecnologias e Sistemas Construtivos, Secção de Construções Civas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

[FERREIRA, 2009]

Ferreira, L., *Rendimentos e Custos em Actividades de Manutenção de Edifícios – Coberturas de Edifícios Correntes*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

[FIGUEIREDO et al]

Figueiredo, R., Neto, O., Maia, L., *Utilização do Método de Monte Carlo para Estimação da Razão de Hedge Ótima do Boi Gordo*.

<http://www.ead.fea.usp.br/semead/12semead/resultado/trabalhosPDF/112.pdf> (15/04/2010)

[FLORES, 2002]

Flores, I., *Estratégias de Manutenção – Elementos da Envolvente de Edifícios Correntes*. Dissertação de Mestrado em Construções, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2002.

[FLORES et al, 2002]

Flores, I., Brito, J., *Estratégias de Manutenção em Fachadas de Edifícios*. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2002.

[LEE *et al*, 2008]

Lee, H., Scott, D. *Strategic and operational factors' influence on the management of building maintenance operation processes in sports and leisure facilities, Hong Kong.* Journal of Retail & Leisure Property, 17/11/2008, Vol. 8,1, 25-37, Palgrave Macmillan.

[LOPES, 2005]

Lopes, T. *Fenómenos de Pré-Patologia em Manutenção de Edifícios Aplicação ao Revestimento ETICS.* Dissertação de Mestrado em Reabilitação de Património Edificado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

[MARTEINSSON e JÓNSSON, 1999]

Marteinsson, B.; Jónsson, B., *Overall Survey of Buildings: Performance Maintenance.* 8th DBMC – International Conference on Durability of Building Materials and Components. Vancouver – Canada, 1999. *Apud* [FLORES, 2002]

[MELHADO, 1994]

Melhado, S. *Qualidade do Projecto na Construção de Edifícios: Aplicação às Empresas de Incorporação e Construção.* Tese de Doutoramento em Engenharia Civil., Universidade de São Paulo, Usp, Brasil, 1994.

[INE]

http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main (07/03/2010)

[ISO 15686-1, 2000]

ISSO/DIS- 15686. *Building and Constructed Assets – Service life Planning, Part 1: General Principles.* Suíça, 2000.

[MATOS, 2007]

Matos, M., *Durabilidade como Critério de Projecto: O Método Factorial no Contexto Português.* Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Património Edificado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2007.

[NP EN 13306:2007]

NP EN 13306:2007 (Primeira Edição). Terminologia da Manutenção, 2007.

[PINHO *et al*, 2005]

Pinho, A., Aguiar, J. *A Reabilitação em Portugal. A mentira denunciada pela verdade dos números.* Arquitecturas. Lisboa, 2005.

<http://mestradoreabilitacao.fa.utl.pt/disciplinas/jaguiar/jaguiarreabilitacaoemnumeros2.pdf>. (2/02/2010).

[PORTO EDITORA]

<http://www.infopedia.pt/lingua-portuguesa/manutenção> (03/03/2010).

[SANTARENO, 2005]

Santareno, H., *As casas Morrem de Pé*. Diário de Noticias, Suplemento Negócios.

http://dn.sapo.pt/inicio/interior.aspx?content_id=621384 (21/05/2010)

[SILVA, 2009]

Silva, A., *Previsão da vida Útil em Revestimento de pedra Natural em Paredes*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

[SOBOL, 1994]

Sobol, L., *Primer for the Monte Carlo Method*. CRC Press Florida: Boca Raton, 1994. *Apud* [FIGUEIREDO *et al*]

[VASCONCELOS, 2005]

Vasconcelos, A., *Manutenção Preventiva em Instalações de Edifícios*. Dissertação de Mestrado em Reabilitação de Património Edificado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

[WIKIPEDIA]

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:AfonsoIV-P.jpg> (24/05/2010)

[WOOD, 2003]

Wood, B., *Building Care*. Blackwell Publishing, Oxford, 2003.

Anexos

A – *LiFe Cyle Cost* das estratégias a aplicar aos revestimentos.

B - Aplicação de incertezas às durações e custos das intervenções nas diferentes estratégias.

B1 - Simulação 1

B2 - Simulação 2

A – Life Cyle Cost das estratégias a aplicar aos revestimentos – Parte 1

	Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Reboco Monomassa	Sem Manutenção	15,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,5	0	0
	Limpezas	15,5	0	0	0,9	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0,6	0
	Reparações Ligeiras	15,5	0	0	0	0	3,0	0	0	0	2,6	0	0	0	0	2,2	0
	Reparações Pesadas	15,5	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
Membrana Elástica	Sem Manutenção	9,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,0	0	0	0	0	0
	Limpezas	9,0	0	0,9	0	0	0,8	0	0,8	0	0	0,7	0	6,5	0	0,6	0
	Reparações Ligeiras	9,0	0	0	1,9	0	0	0	1,6	0	0	1,5	0	0	1,3	0	0
	Reparações Pesadas	9,0	0	0	0	0	0	0	6,9	0	0	0	0	0	0	0	0
Tinta Plástica	Sem Manutenção	7,5	0	0	0	0	7,1	0	0	0	0	5,9	0	0	0	0	4,9
	Limpezas	7,5	1,0	0	0,9	0,9	0,8	6,8	0,8	0	0,7	0,7	0,7	5,5	0,6	0	0,6
	Reparações Ligeiras	7,5	0	2,7	2,6	0	2,4	0	2,2	0	2,1	2,0	0	1,8	0	1,7	4,9
	Reparações Pesadas	7,5	0	0	7,5	0	0	0	0	6,4	0	0	5,6	0	0	0	0
Revestimento Cerâmico	Sem Manutenção	22,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Limpezas	22,5	0	0	0	3,9	0	0	0	3,4	0	0	0	0	2,8	0	0
	Reparações Ligeiras	22,5	0	0	0	0	0	6,2	0	0	0	0	5,2	0	0	0	0
	Reparações Pesadas	22,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,6	0	0	0	0
Revestimento Pedra Natural	Sem Manutenção	55,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Limpezas	55,9	0	0	0	0	0	0	5,0	0	0	0	0	0	0	3,9	0
	Reparações Ligeiras	55,9	0	0	0	0	0	0	0	0	10,4	0	0	0	0	0	0
	Reparações Pesadas	55,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A – Life Cyle Cost das estratégias a aplicar aos revestimentos – Parte 2

	Anos	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Reboco Monomassa	Sem Manutenção	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,7	0	0	0	0
	Limpezas	13,0	0	0	0,5	0	0	0	0,4	0	0	0,4	0	0	0	0,3	0
	Reparações Ligeiras	0	0	1,9	0	0	0	0	1,6	0	0	0	1,4	0	0	0	0
	Reparações Pesadas	0	0	0	0	0	0	10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5
Membrana Elástica	Sem Manutenção	0	0	0	0	4,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4	0
	Limpezas	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0	4,2	0,4	0	0	0,4	0	0,3	0
	Reparações Ligeiras	0	1,1	0	0	1,0	0	0	0,9	0	0	0,8	0	0	0	3,4	0
	Reparações Pesadas	5,6	0	0	0	0	0	0	3,8	0	0	0	0	0	0	0	0
Tinta Plástica	Sem Manutenção	0	0	0	0	4,1	0	0	0	0	3,4	0	0	0	0	2,9	0
	Limpezas	0,6	0,5	4,4	0,5	0	0,5	0,4	0,4	3,6	0,4	0	0,4	0,4	0,3	2,9	0,3
	Reparações Ligeiras	0	1,5	1,5	0	1,4	0	1,3	0	1,2	1,1	0	1,1	0	1,0	2,9	0
	Reparações Pesadas	4,8	0	0	4,2	0	0	0	0	3,6	0	0	3,1	0	0	0	0
Revestimento Cerâmico	Sem Manutenção	0	15,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Limpezas	0	2,4	0	0	13,5	0	0	0	1,9	0	0	0	1,6	0	0	0
	Reparações Ligeiras	0	4,2	0	0	0	0	0	3,4	0	0	0	0	2,8	0	0	0
	Reparações Pesadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,1	0	0	0
Revestimento Pedra Natural	Sem Manutenção	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,2	0	0	0	0
	Limpezas	0	0	0	0	3,1	0	0	0	0	0	0	2,4	0	0	0	0
	Reparações Ligeiras	0	0	7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	5,4	0	0	0	0
	Reparações Pesadas	0	0	17,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

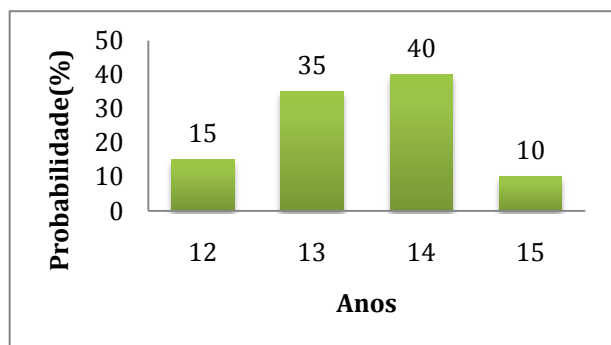
A – Life Cyle Cost das estratégias a aplicar aos revestimentos – Parte 3

	Anos	32	33	34	35	36	37	38	39	40	40,5	41	42	43	44	Total (€/m2)
Reboco Monomassa	Sem Manutenção	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,3	0	0	0	0	44,0
	Limpezas	7,3	0	0	0,3	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	40,5
	Reparações Ligeiras	1,1	0	0	0	1,0	0	0	0	5,4	0	0	0	0	0	35,8
	Reparações Pesadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,7	45,1
Membrana Elástica	Sem Manutenção	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	0	0	0	0	0	26,5
	Limpezas	0	0,3	0	0	2,7	0	0,3	0	0,2	0	0	0,2	0	0	29,3
	Reparações Ligeiras	0	0,6	0	0	0	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0,4	0	24,6
	Reparações Pesadas	3,1	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0	0	0	30,6
Tinta Plástica	Sem Manutenção	0	0	0	2,4	0	0	0	0	2,0	0	0	0	0	0	40,2
	Limpezas	0	0,3	0,3	0,3	2,3	0,3	0	0,2	0,2	0	0,2	1,8	0,2	0	49,2
	Reparações Ligeiras	0,9	0,9	0	0,8	0	0,7	0	0,7	0,7	0	0	0,6	0	0,6	48,6
	Reparações Pesadas	2,7	0	0	2,3	0	0	0	0	2,0	0	0	0	1,8	0	51,3
Revestimento Cerâmico	Sem Manutenção	0	0	8,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45,7
	Limpezas	0	1,4	0	0	0	1,2	0	0	6,5	0	0	0	0	0,9	62,0
	Reparações Ligeiras	0	0	2,3	0	0	0	0	1,9	0	0	0	0	0	0	48,4
	Reparações Pesadas	0	0	0	0	0	0	0	3,8	0	0	0	0	0	0	47,1
Revestimento Pedra Natural	Sem Manutenção	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83,1
	Limpezas	7,2	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0	0	79,2
	Reparações Ligeiras	0	0	0	0	3,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83,2
	Reparações Pesadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,7	88,4

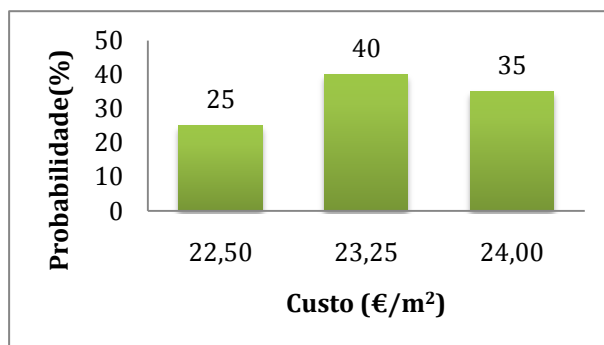
Revestimento em Reboco Monomassa

Estratégia: Sem Manutenção

Periodicidade de Intervenção de Substituição

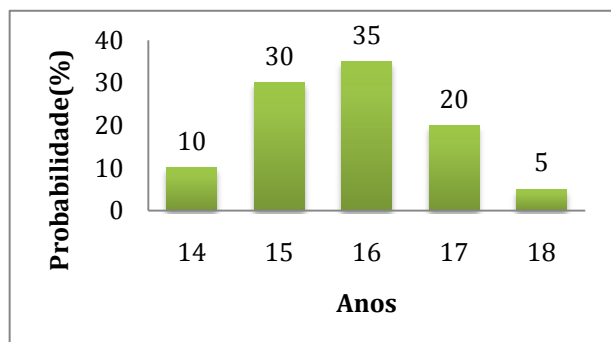


Custo de Intervenção de Substituição

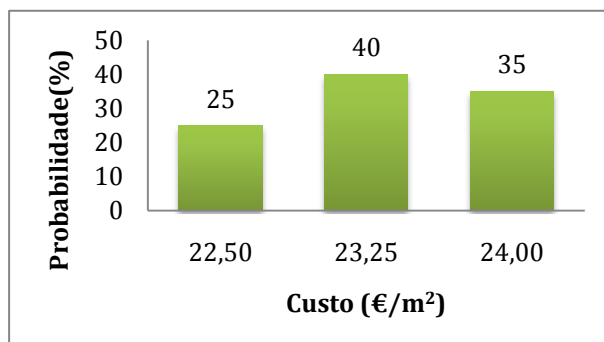


Estratégia: Limpezas

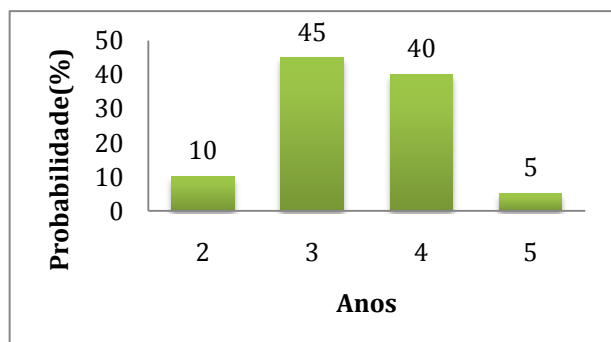
Periodicidade de Intervenção de Substituição



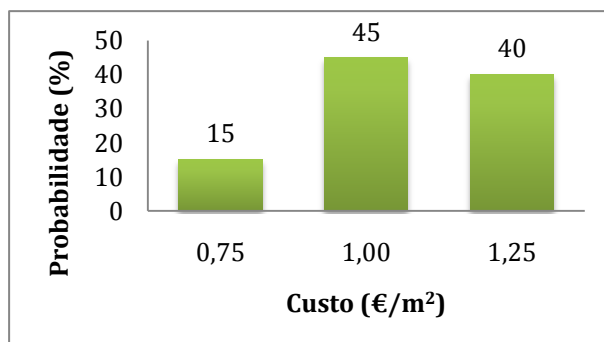
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção de Limpeza

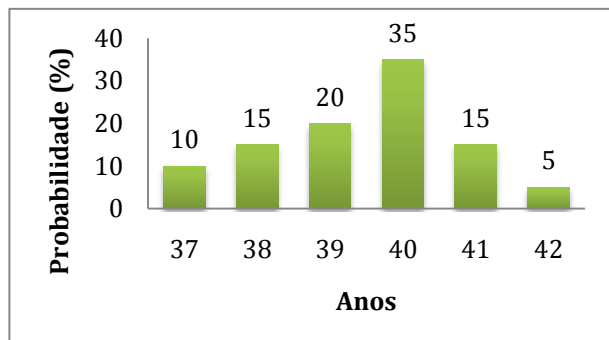


Custo de Intervenção de Limpeza

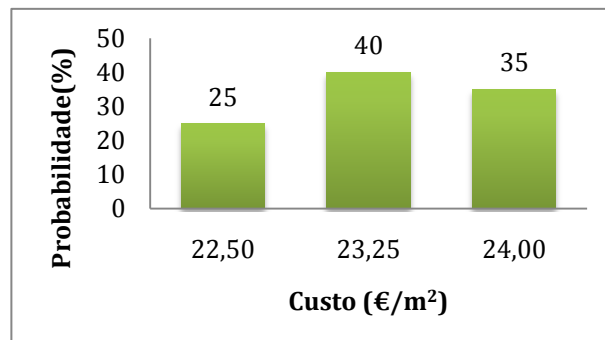


Estratégia: Reparações Ligeiras

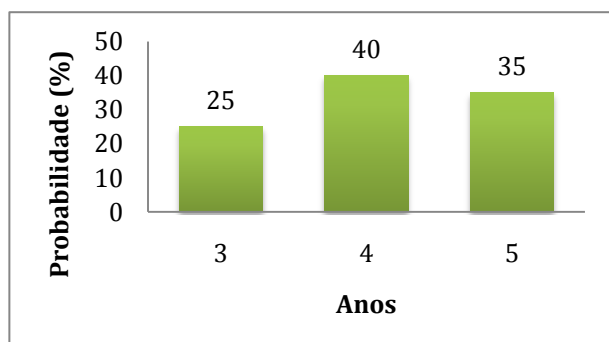
Periodicidade de Intervenção de Substituição



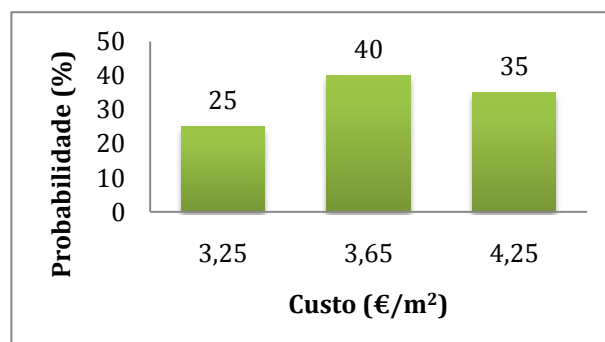
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção das Reparações Ligeiras

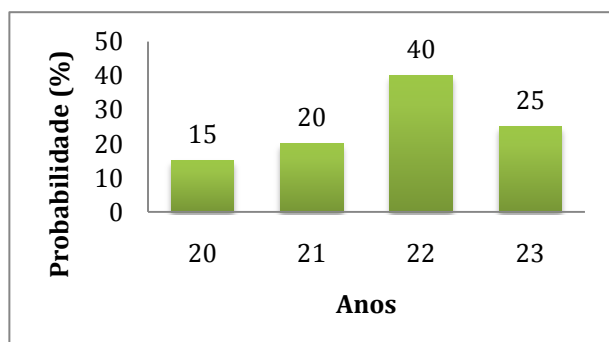


Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras

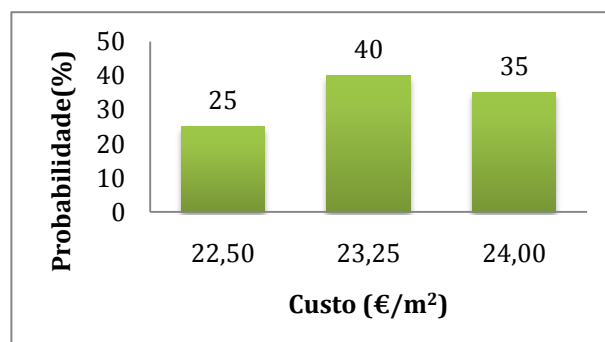


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção de Substituição

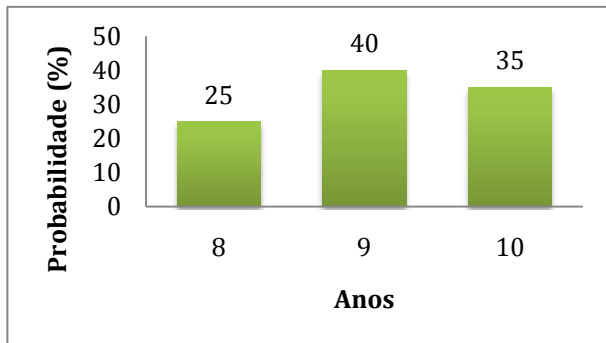


Custo de Intervenção de Substituição

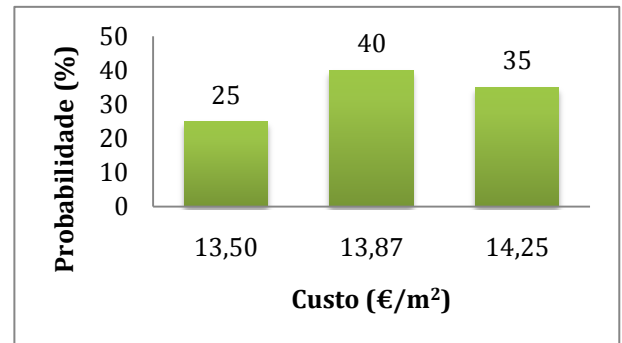


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção das Reparações Pesadas



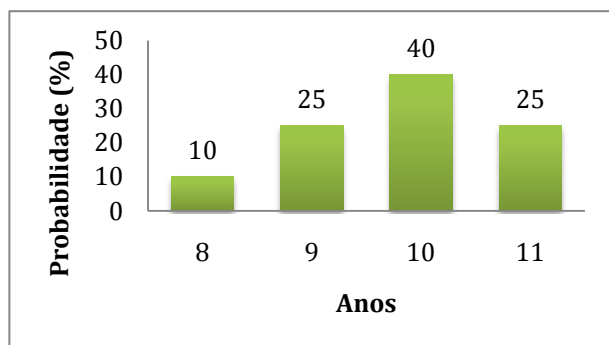
Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras



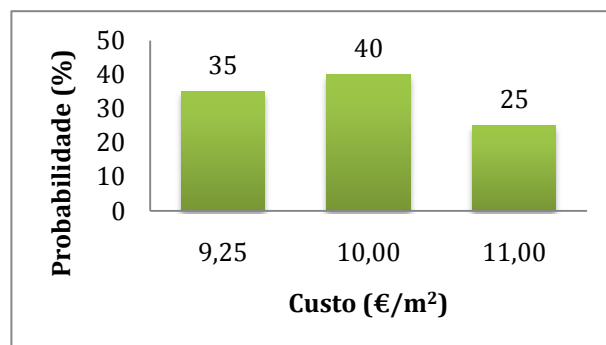
Revestimento em Membrana Elástica

Estratégia: Sem Manutenção

Periodicidade de Intervenção de Substituição

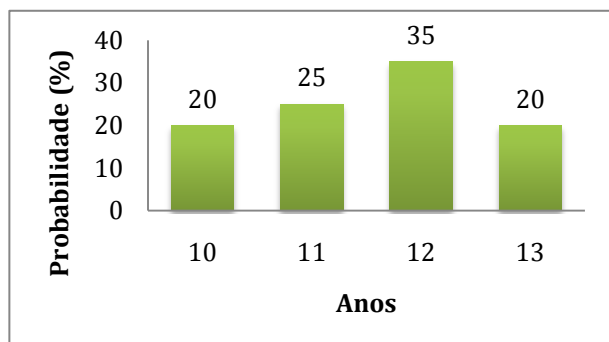


Custo de Intervenção de Substituição

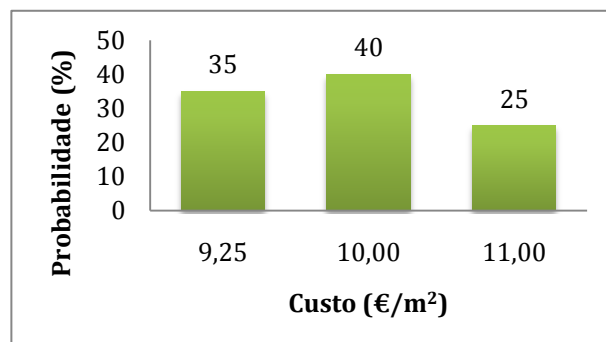


Estratégia: Limpezas

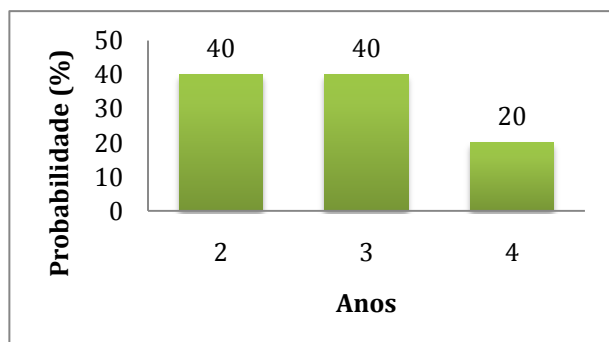
Periodicidade de Intervenção de Substituição



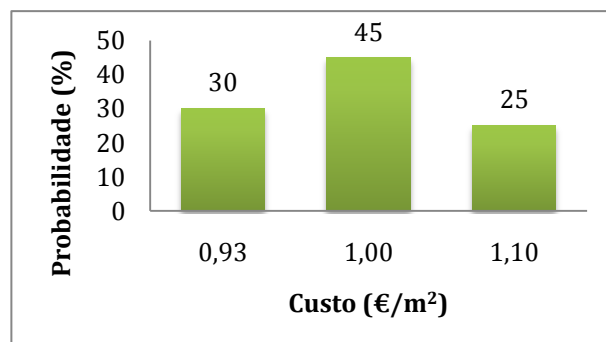
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção de Limpeza

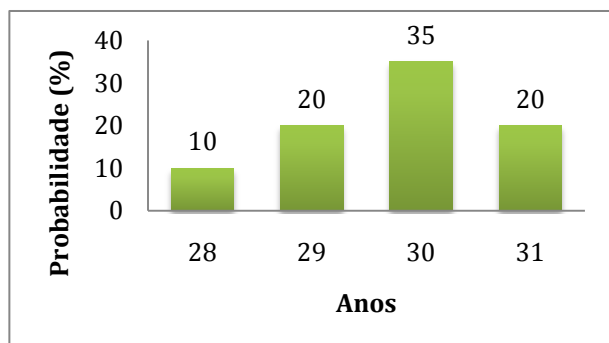


Custo de Intervenção de Limpeza

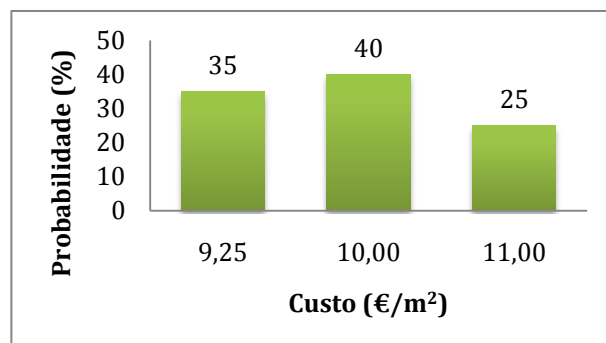


Estratégia: Reparações Ligeiras

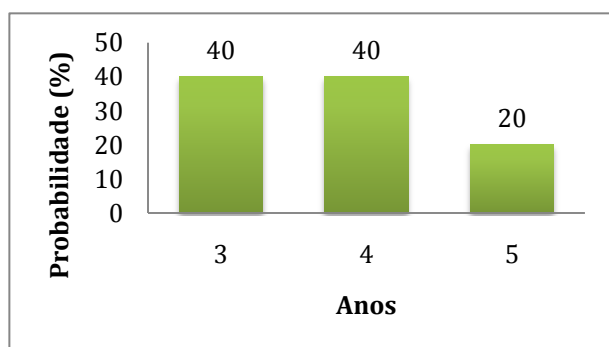
Periodicidade de Intervenção de Substituição



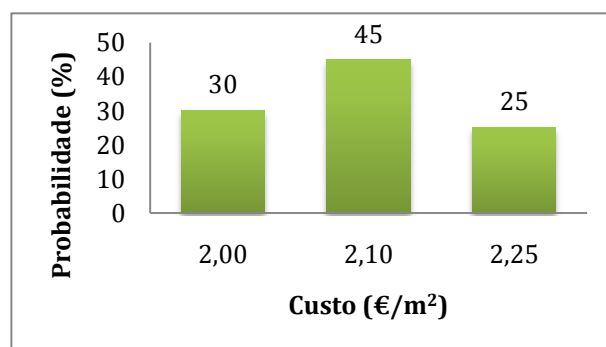
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção das Reparações Ligeiras

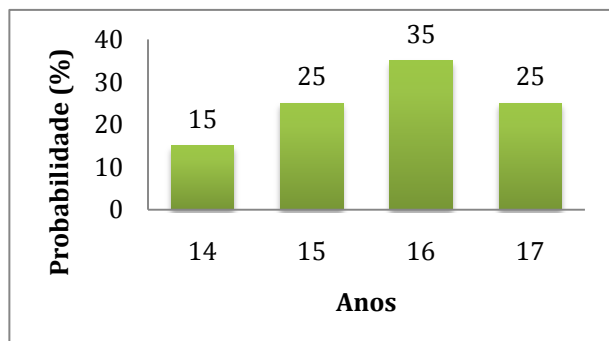


Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras

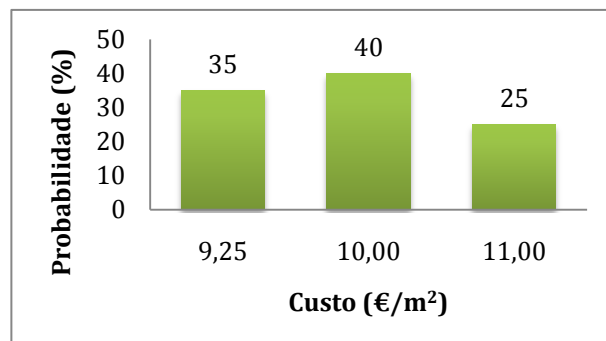


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção de Substituição

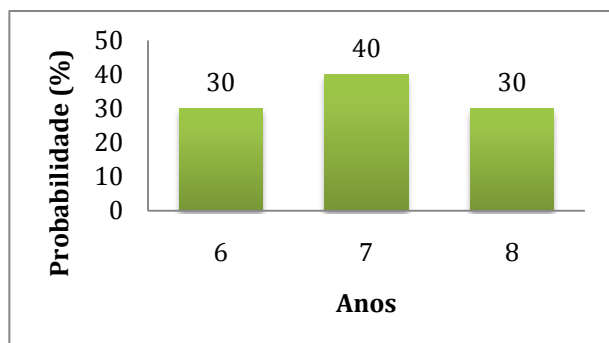


Custo de Intervenção de Substituição

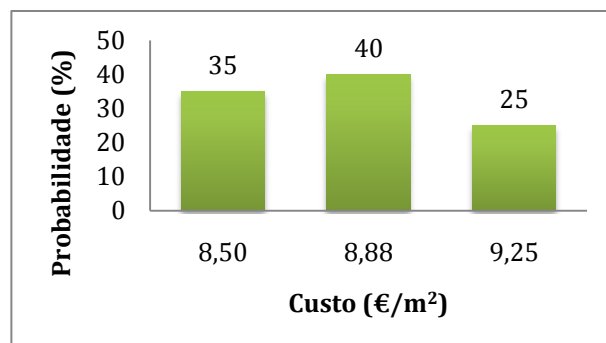


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção das Reparações Pesadas



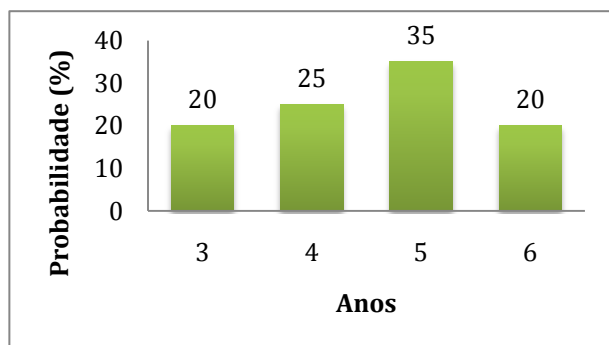
Custo de Intervenção das Reparações Pesadas



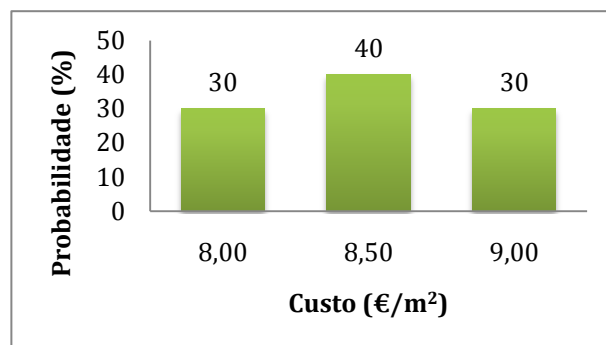
Revestimento em Tinta Plástica

Estratégia: Sem Manutenção

Periodicidade de Intervenção de Substituição

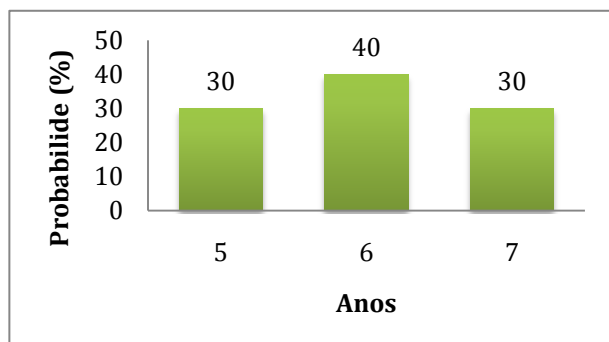


Custo de Intervenção de Substituição

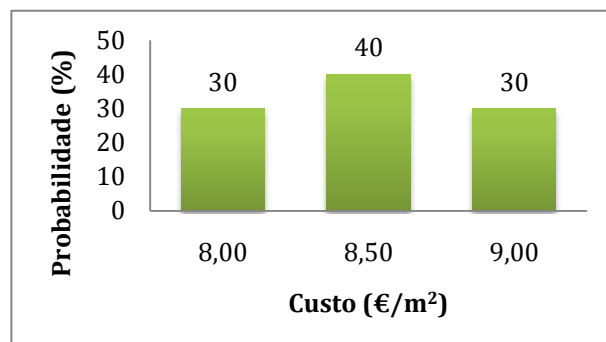


Estratégia: Limpezas

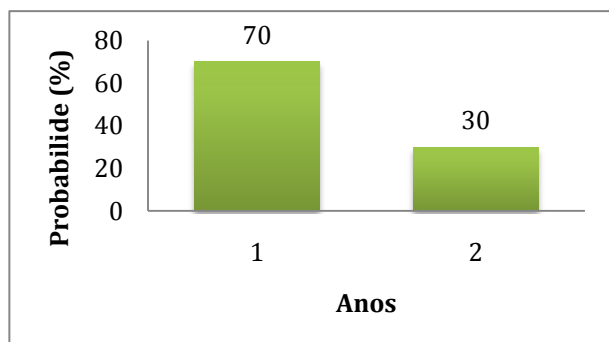
Periodicidade de Intervenção de Substituição



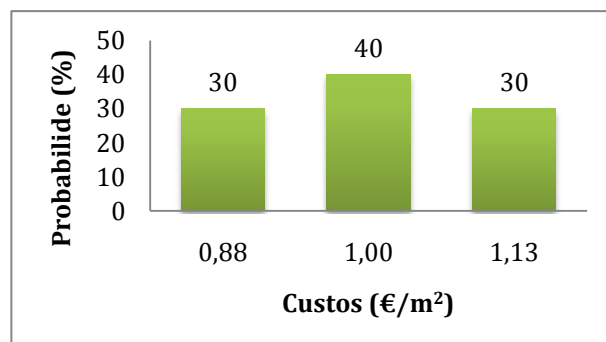
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção de Limpeza

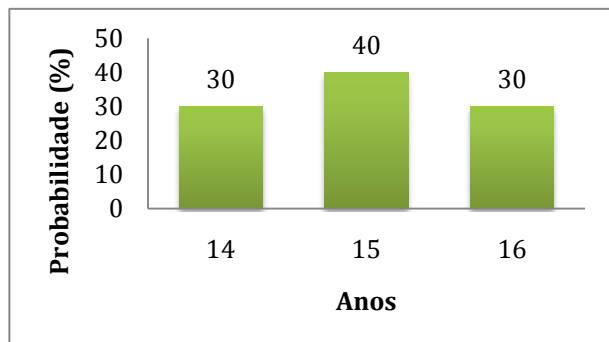


Custo de Intervenção de Limpeza

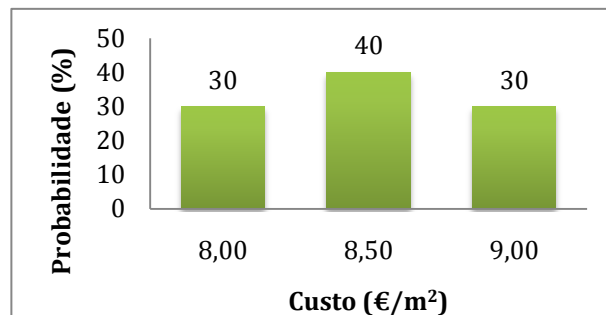


Estratégia: Reparações Ligeiras

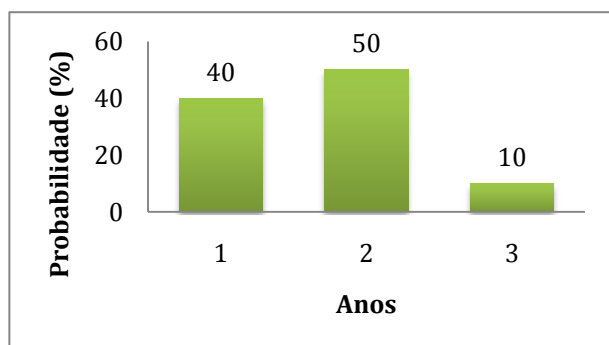
Periodicidade de Intervenção de Substituição



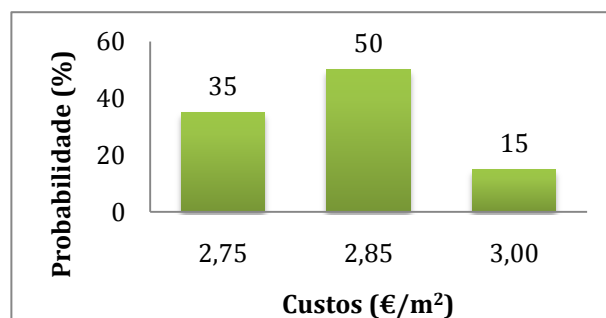
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção das Reparações Ligeiras

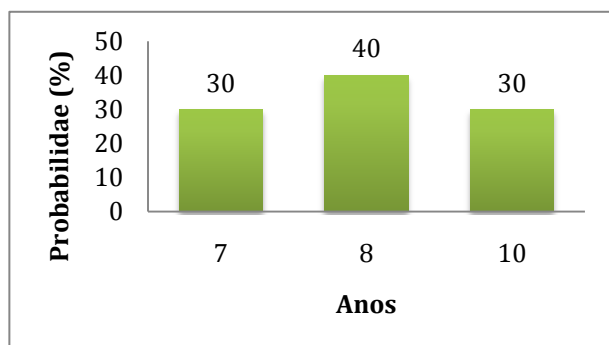


Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras

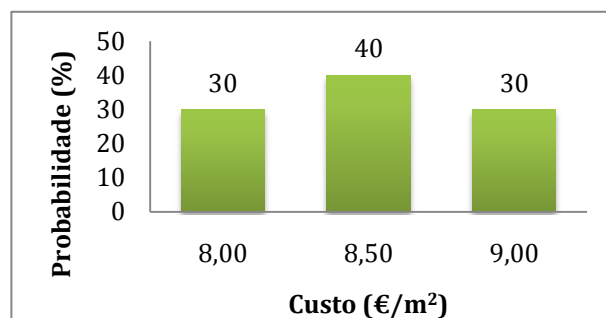


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção de Substituição

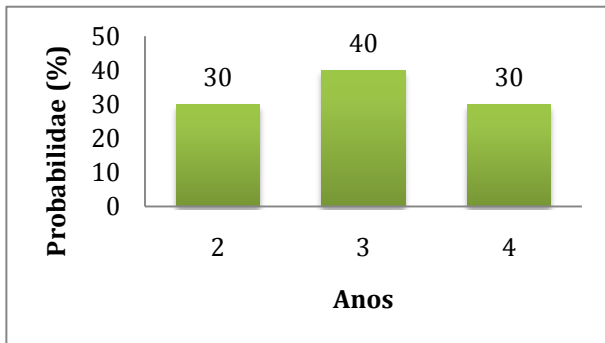


Custo de Intervenção de Substituição

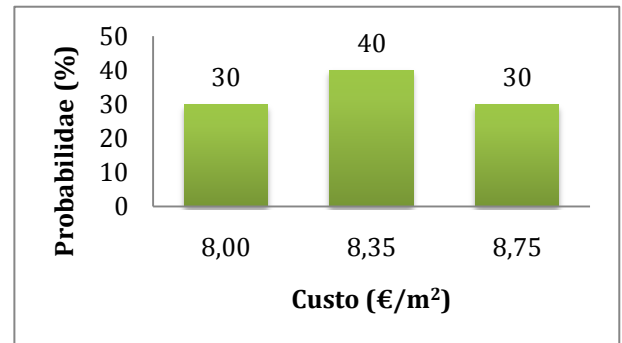


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção das Reparações Pesadas



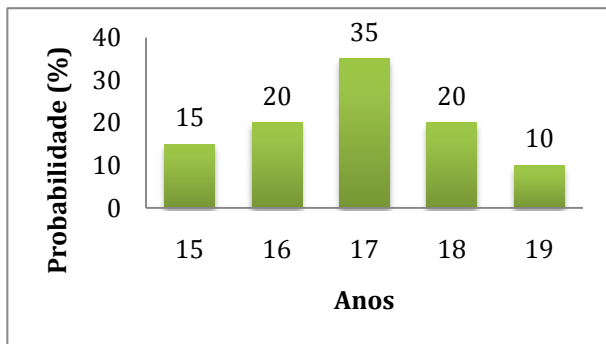
Custo de Intervenção das Reparações Pesadas



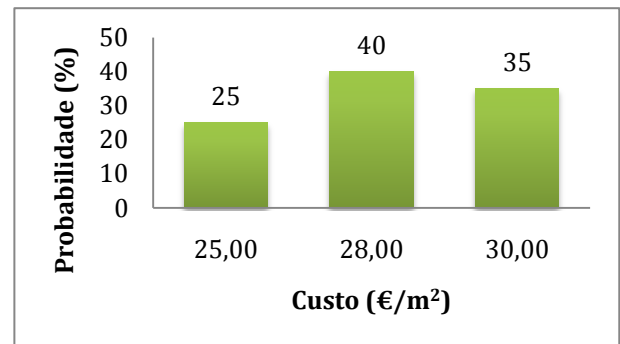
Revestimento Cerâmico

Estratégia: Sem Manutenção

Periodicidade de Intervenção de Substituição

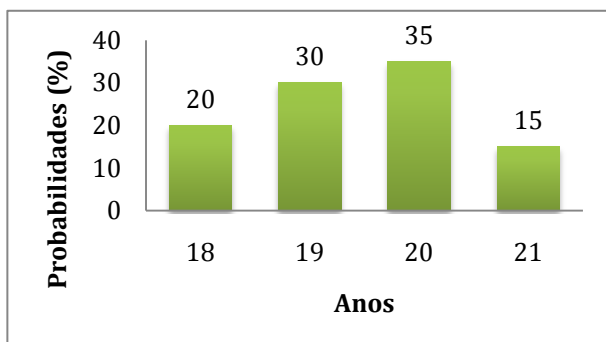


Custo de Intervenção de Substituição

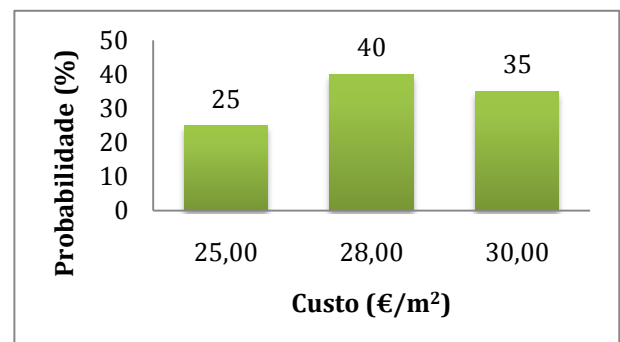


Estratégia: Limpezas

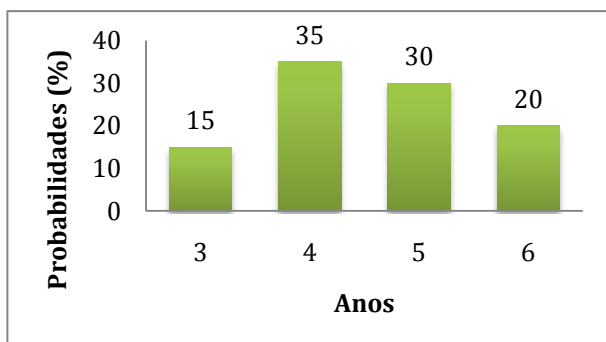
Periodicidade de Intervenção de Substituição



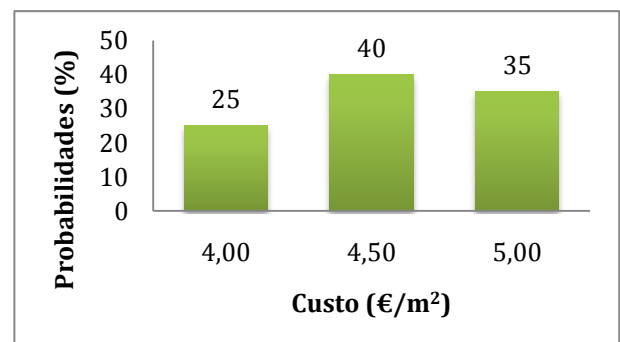
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção de Limpeza

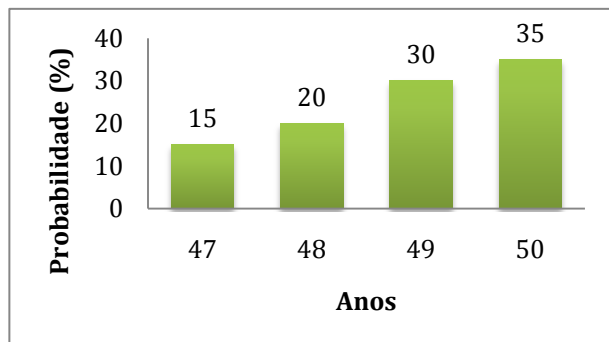


Custo de Intervenção de Limpeza

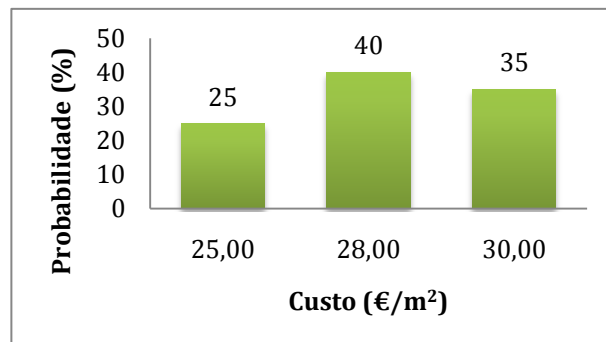


Estratégia: Reparações Ligeiras

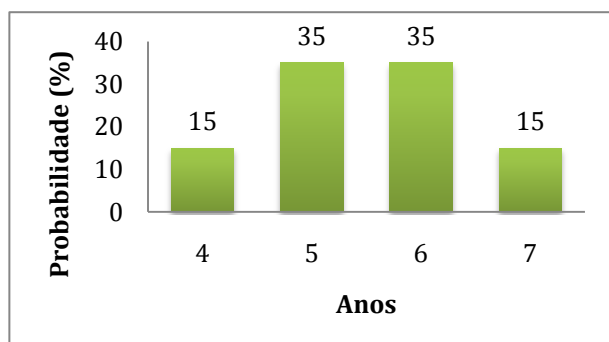
Periodicidade de Intervenção de Substituição



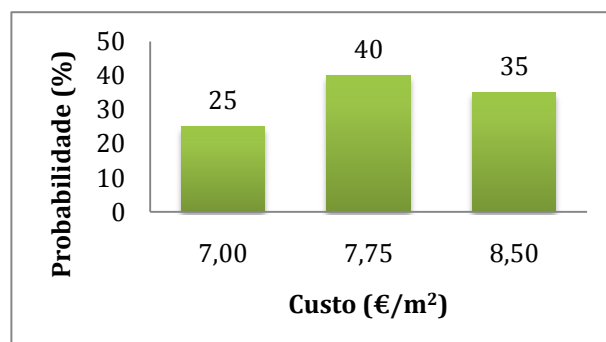
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção das Reparações Ligeiras

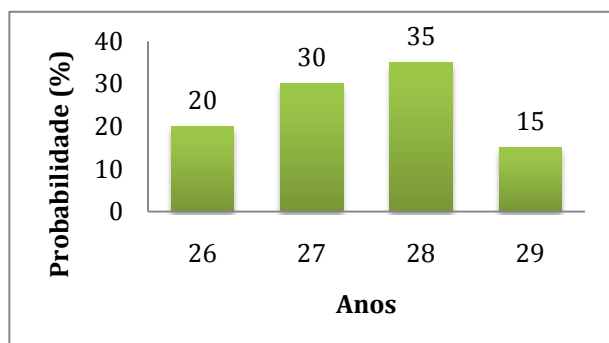


Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras

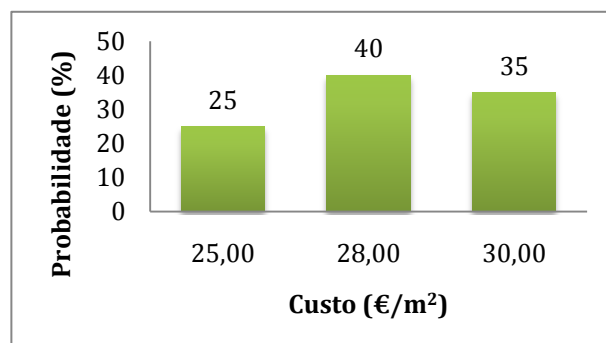


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção de Substituição

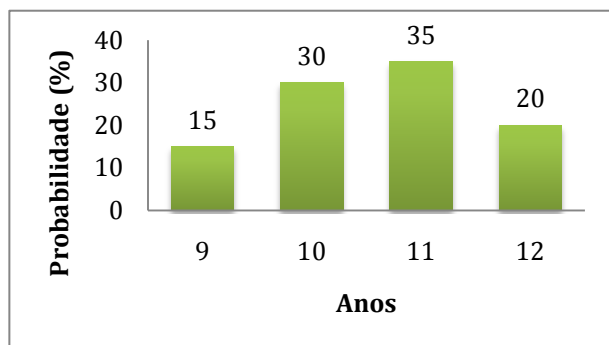


Custo de Intervenção de Substituição

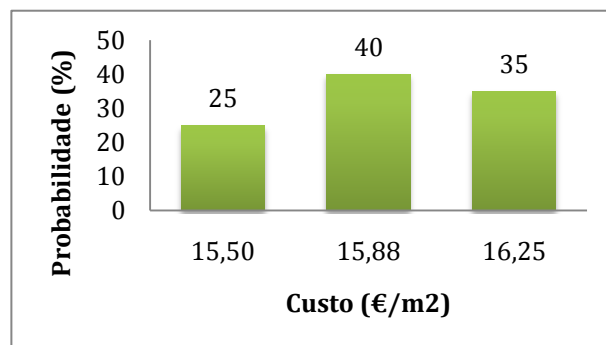


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção das Reparações Pesadas



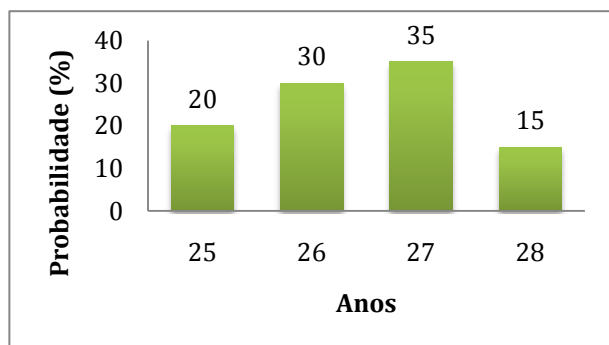
Custo de Intervenção das Reparações Pesadas



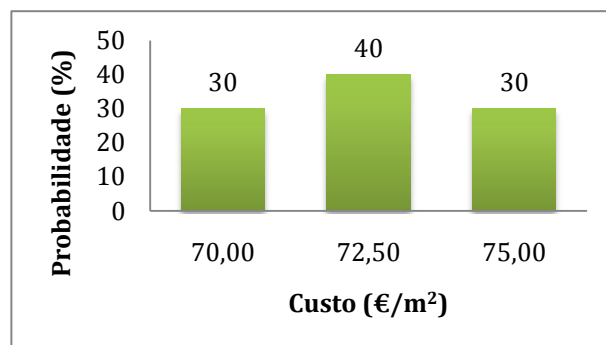
Revestimento em Pedra Natural

Estratégia: Sem Manutenção

Periodicidade de Intervenção de Substituição

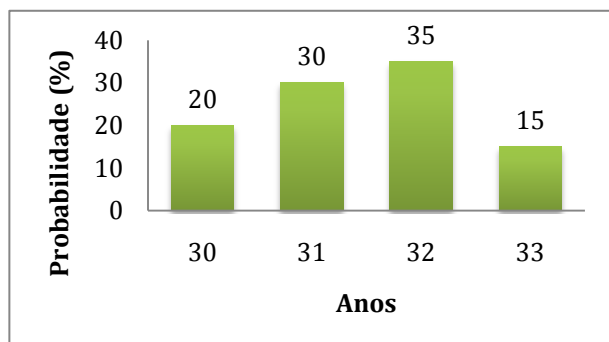


Custo de Intervenção de Substituição

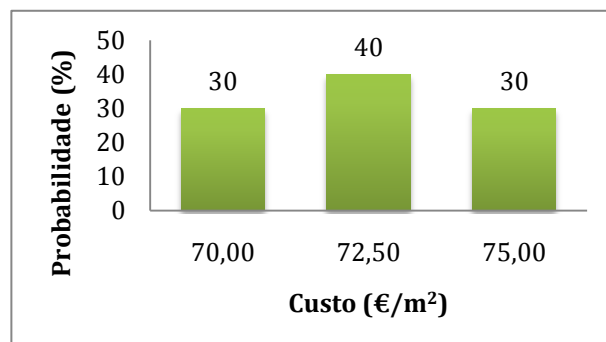


Estratégia: Limpezas

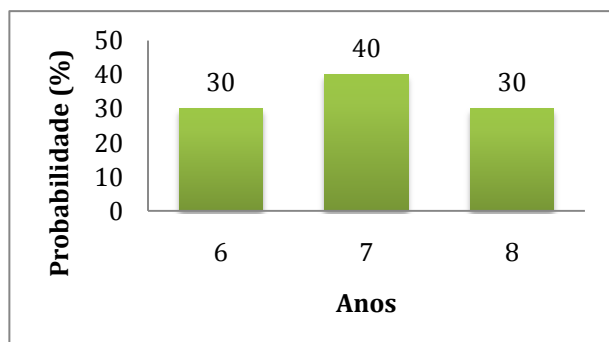
Periodicidade de Intervenção de Substituição



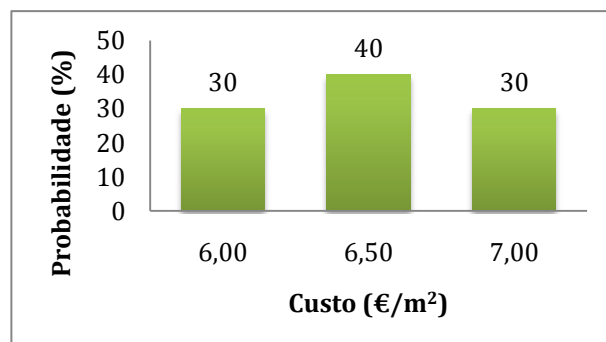
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção de Limpeza

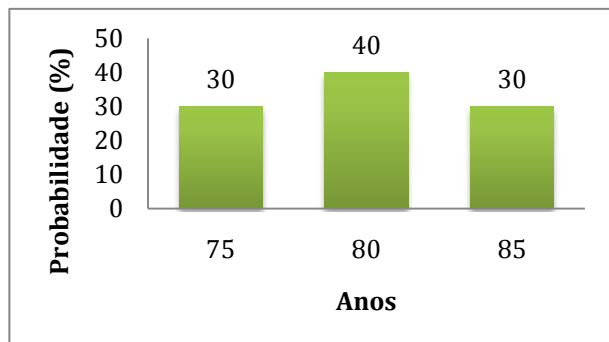


Custo de Intervenção de Limpeza

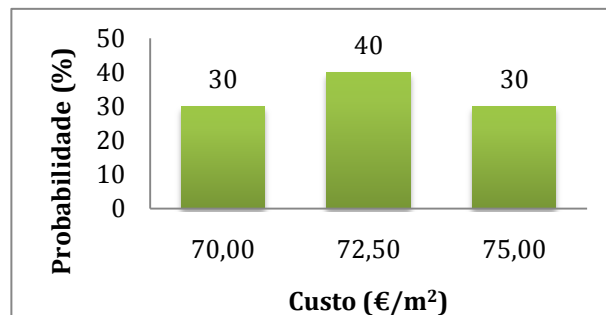


Estratégia: Reparações Ligeiras

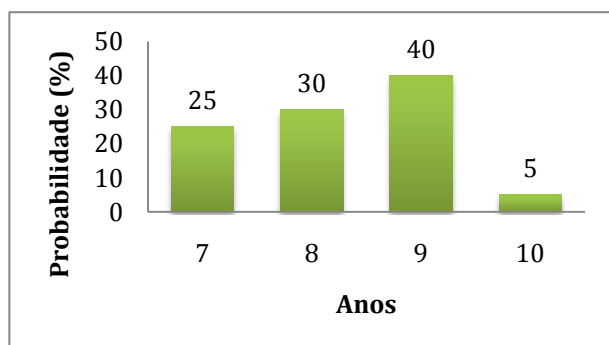
Periodicidade de Intervenção de Substituição



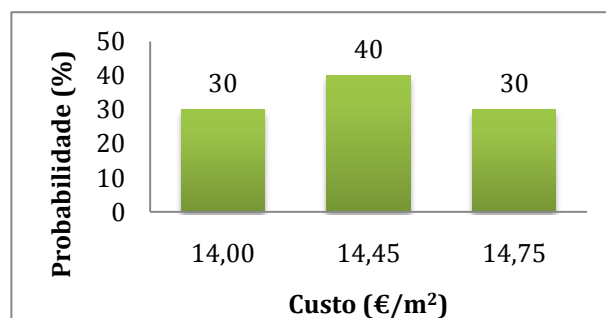
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção das Reparações Ligeiras

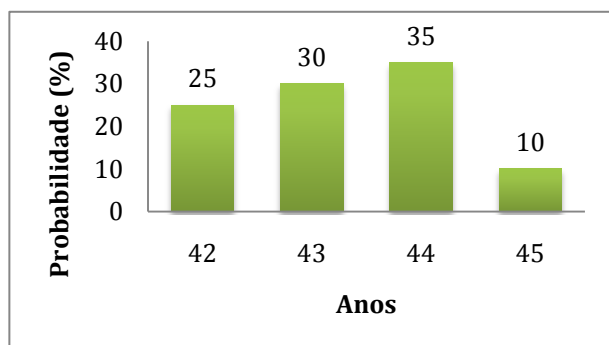


Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras

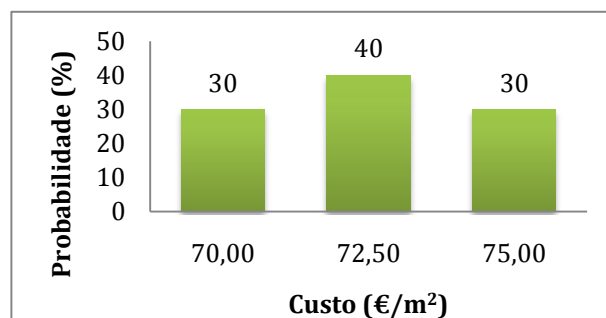


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção de Substituição

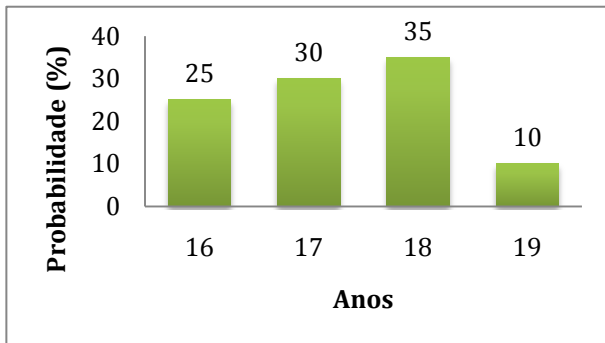


Custo de Intervenção de Substituição

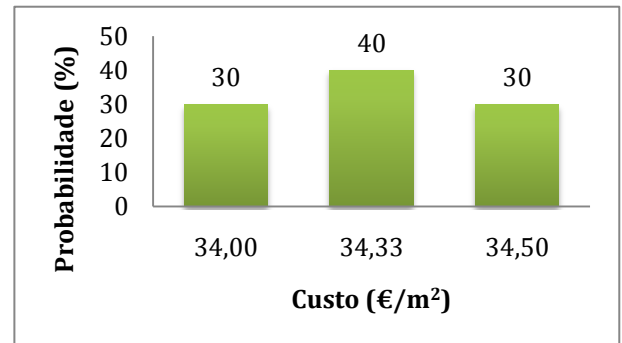


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção das Reparações Pesadas



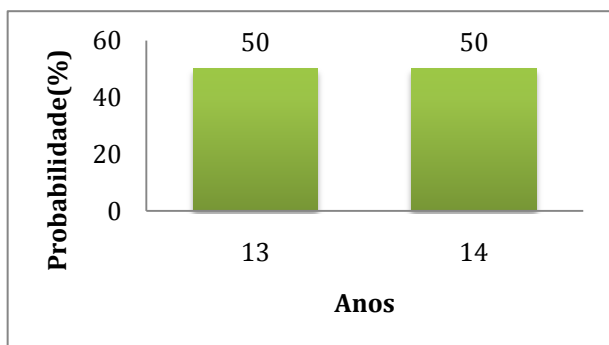
Custo de Intervenção das Reparações Pesadas



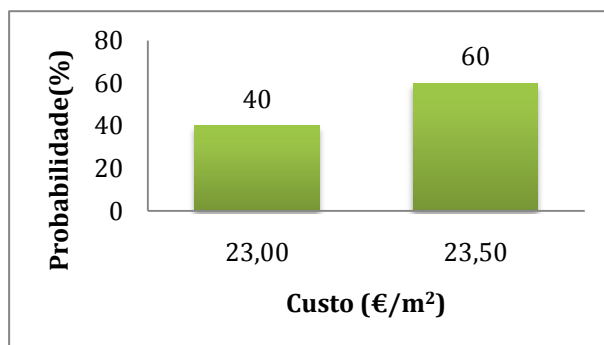
Revestimento em Reboco Monomassa

Estratégia: Sem Manutenção

Periodicidade de Intervenção de Substituição

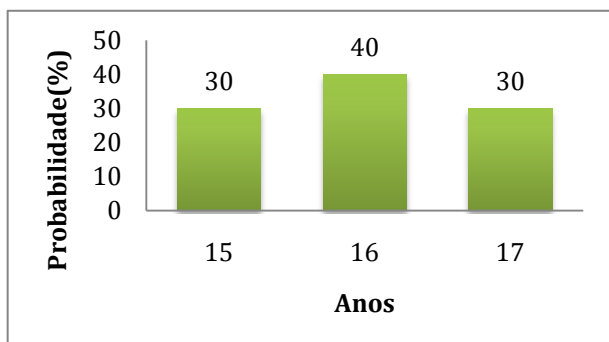


Custo de Intervenção de Substituição

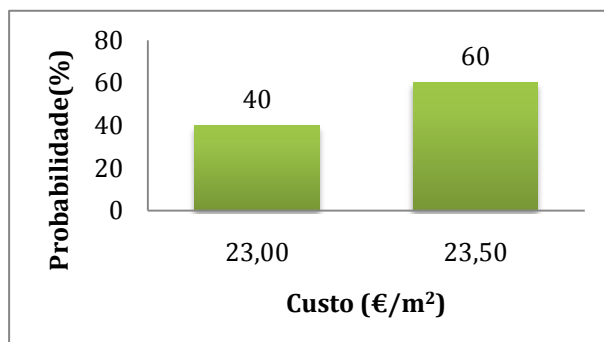


Estratégia: Limpezas

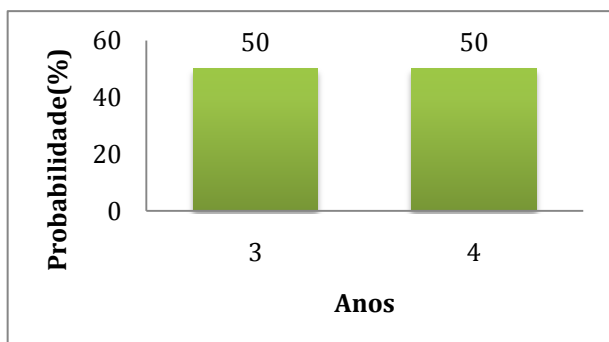
Periodicidade de Intervenção de Substituição



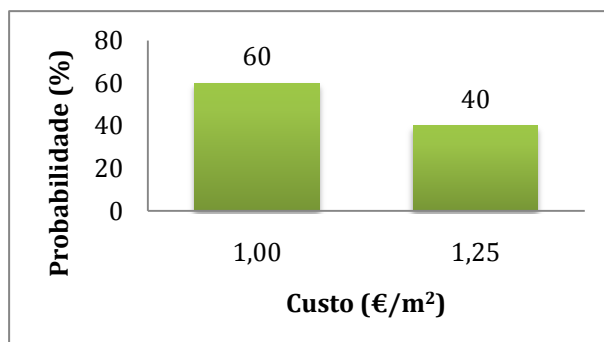
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção de Limpeza

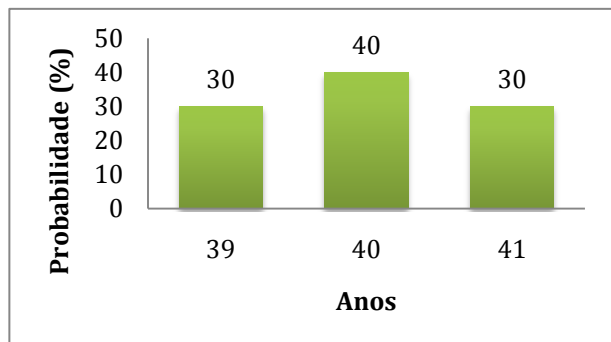


Custo de Intervenção de Limpeza

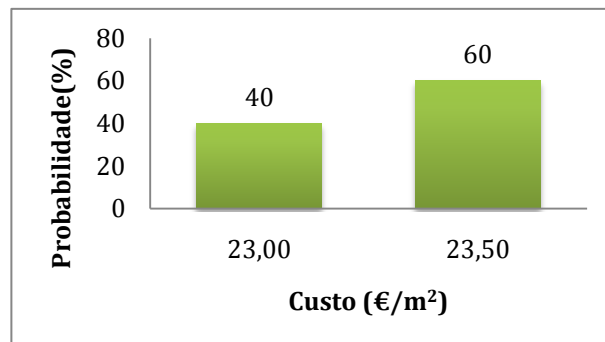


Estratégia: Reparações Ligeiras

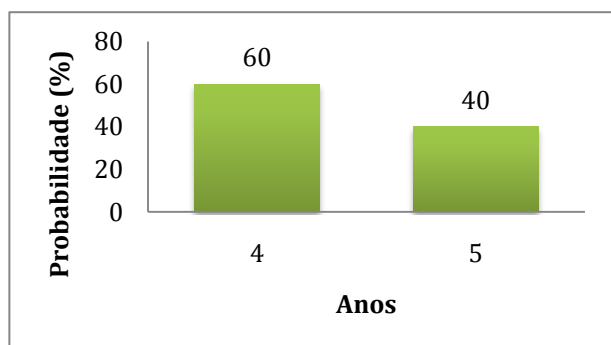
Periodicidade de Intervenção de Substituição



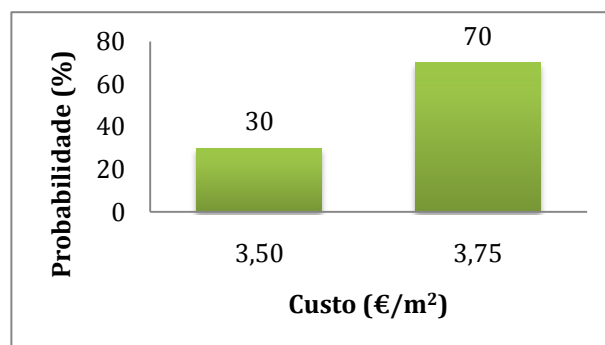
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção das Reparações Ligeiras

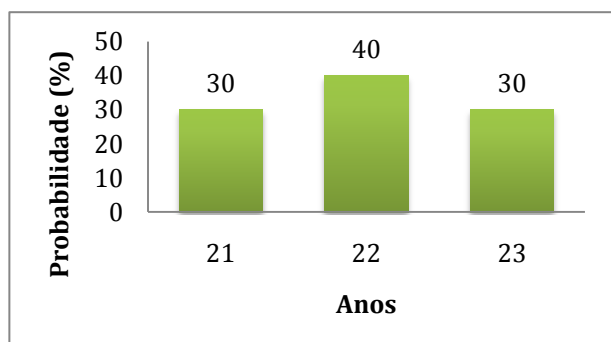


Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras

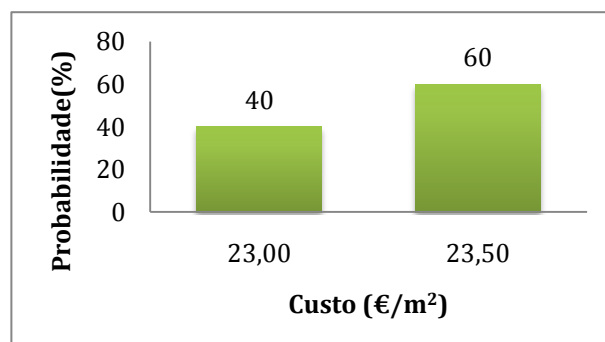


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção de Substituição

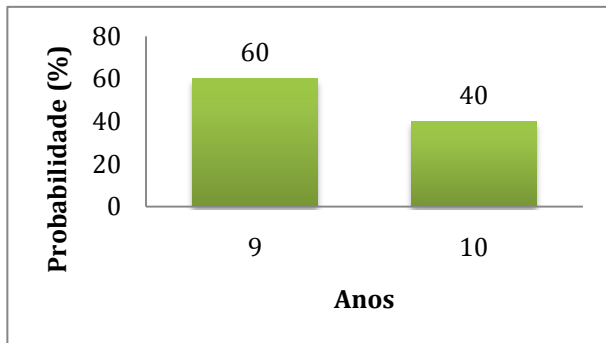


Custo de Intervenção de Substituição

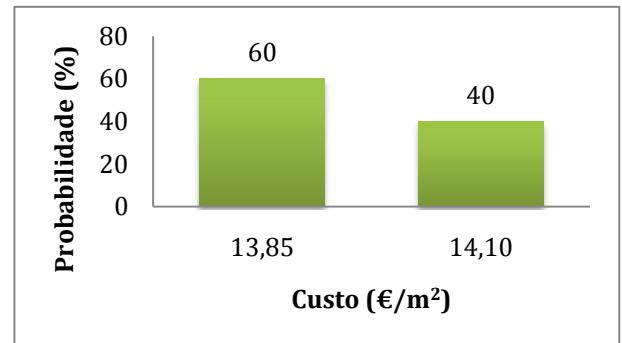


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção das Reparações Pesadas



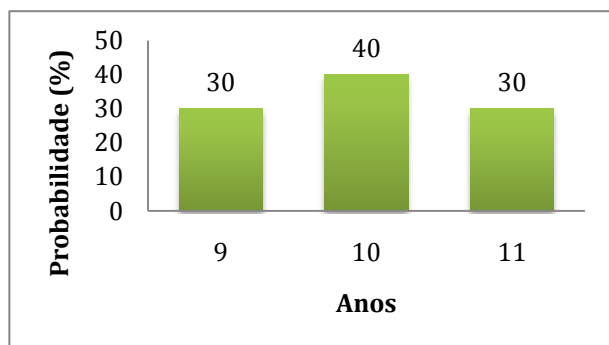
Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras



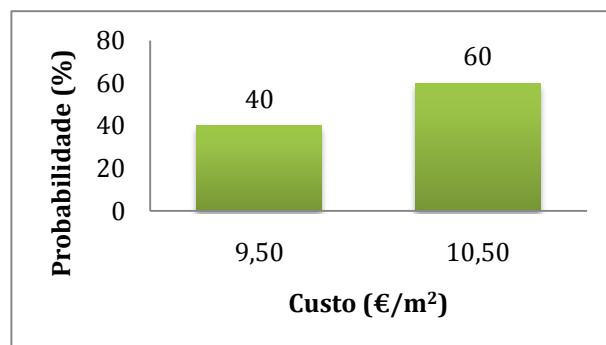
Revestimento em Membrana Elástica

Estratégia: Sem Manutenção

Periodicidade de Intervenção de Substituição

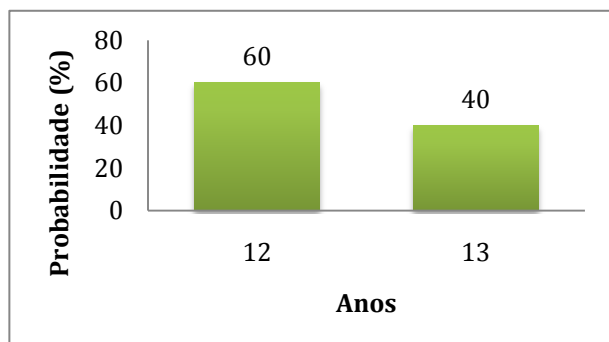


Custo de Intervenção de Substituição

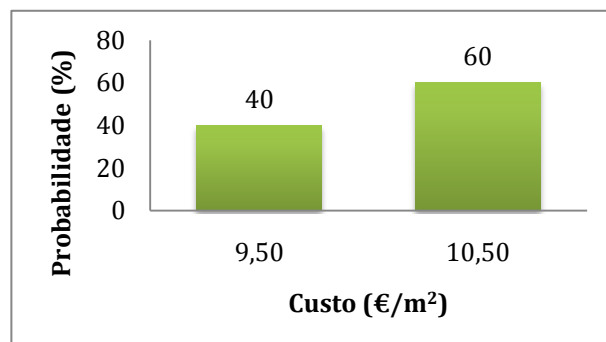


Estratégia: Limpezas

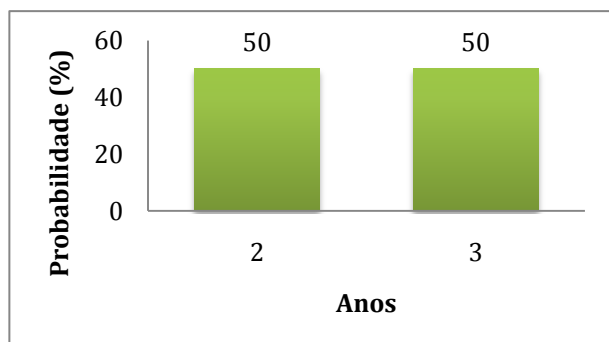
Periodicidade de Intervenção de Substituição



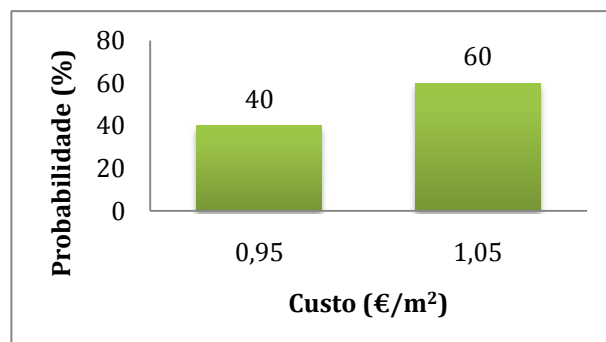
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção de Limpeza

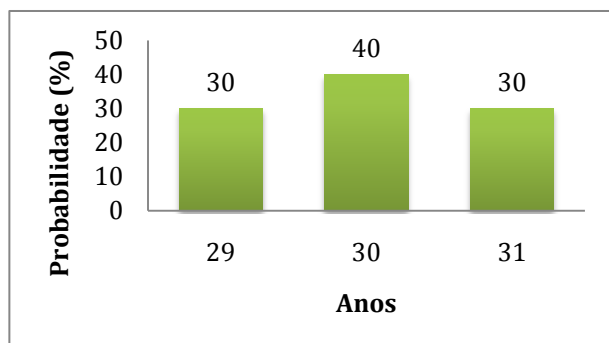


Custo de Intervenção de Limpeza

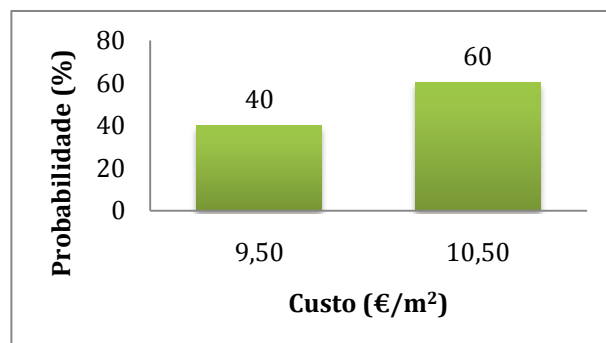


Estratégia: Reparações Ligeiras

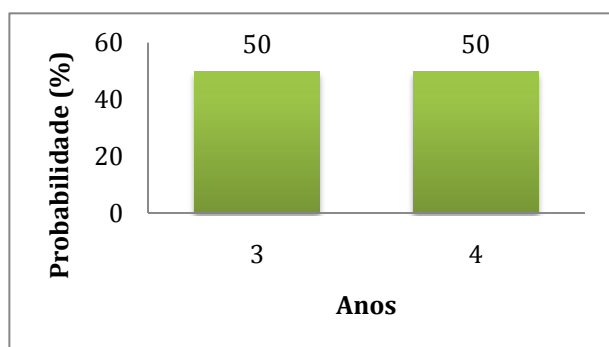
Periodicidade de Intervenção de Substituição



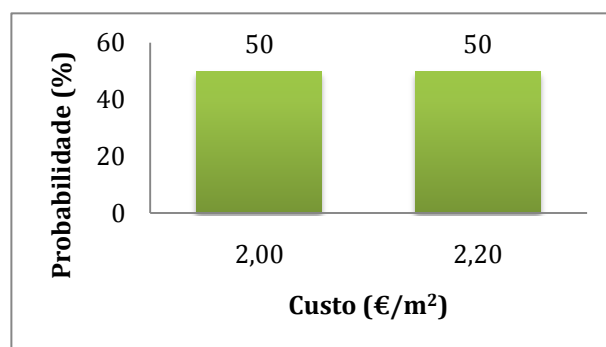
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção das Reparações Ligeiras

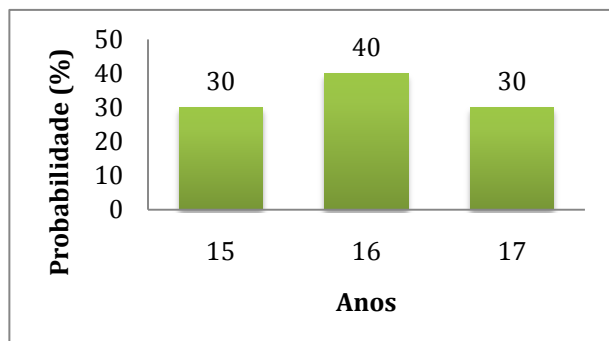


Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras

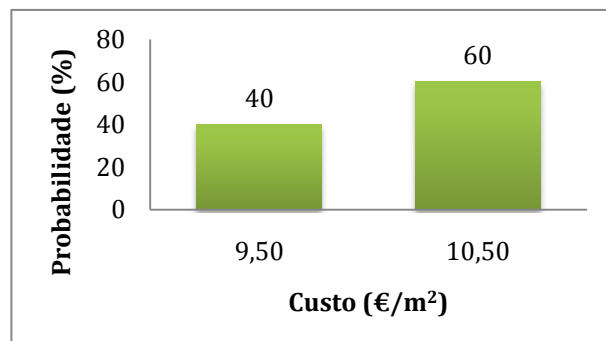


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção de Substituição

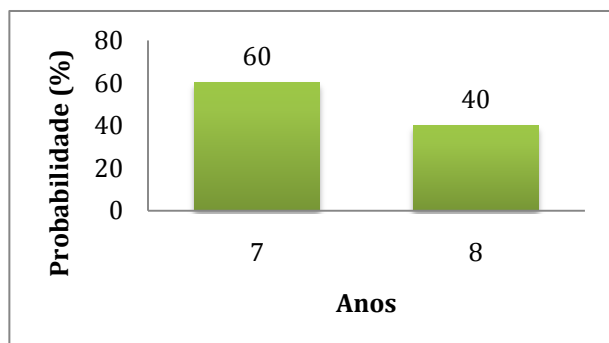


Custo de Intervenção de Substituição

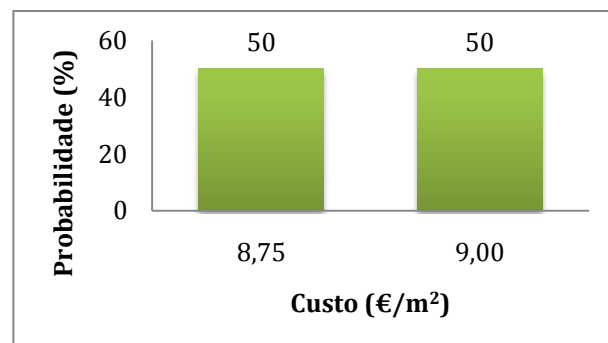


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção das Reparações Pesadas



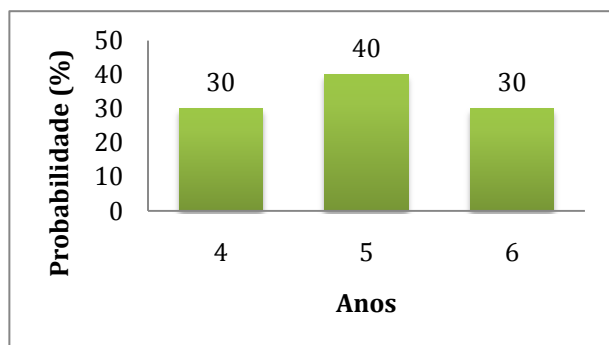
Custo de Intervenção das Reparações Pesadas



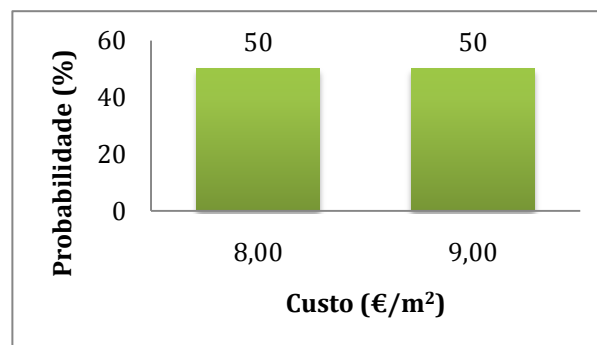
Revestimento em Tinta Plástica

Estratégia: Sem Manutenção

Periodicidade de Intervenção de Substituição

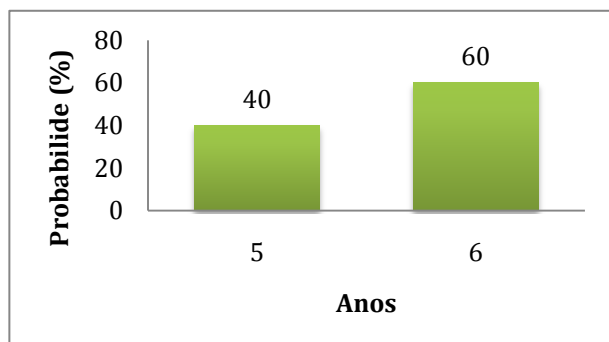


Custo de Intervenção de Substituição

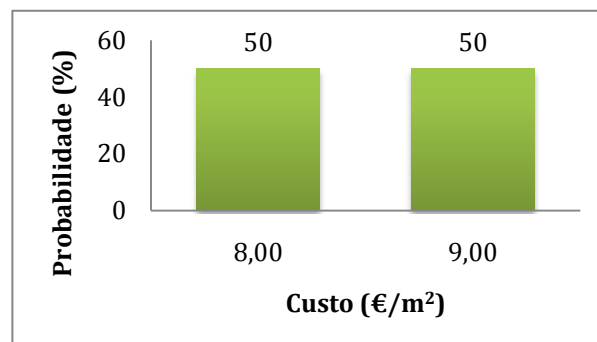


Estratégia: Limpezas

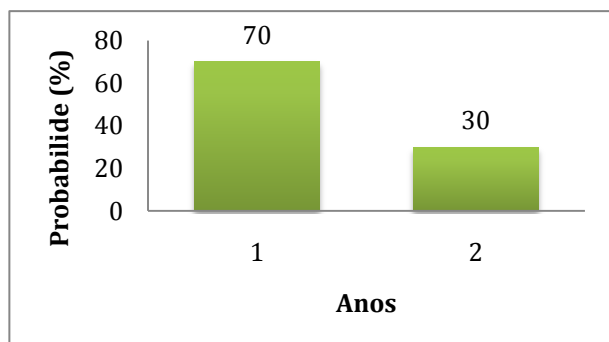
Periodicidade de Intervenção de Substituição



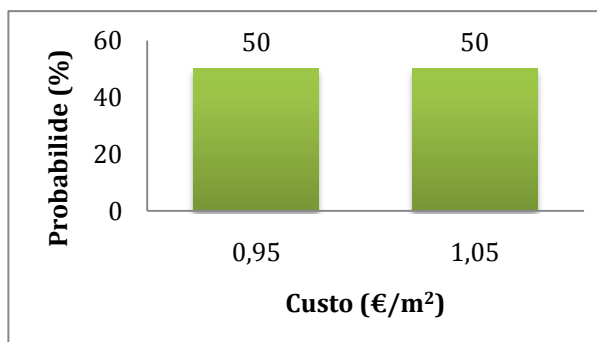
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção de Limpeza

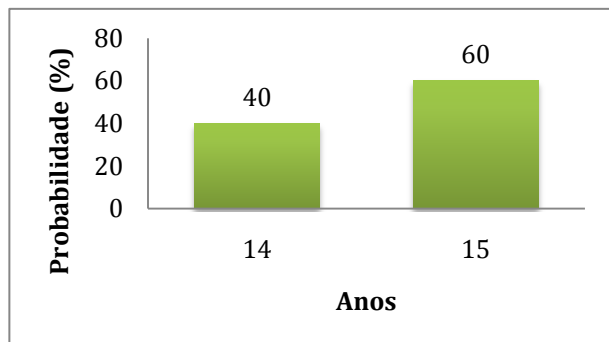


Custo de Intervenção de Limpeza

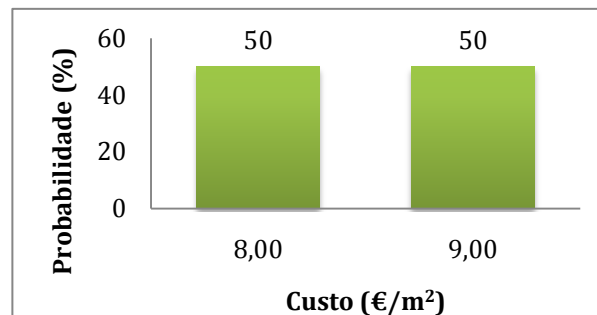


Estratégia: Reparações Ligeiras

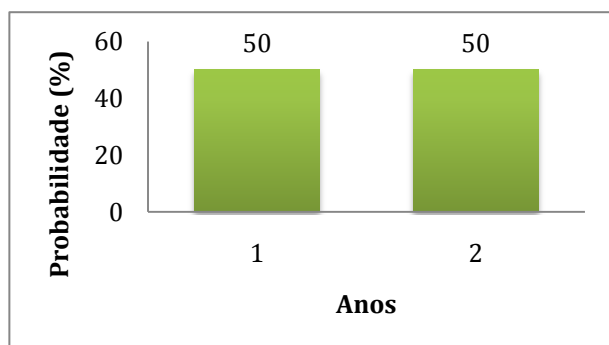
Periodicidade de Intervenção de Substituição



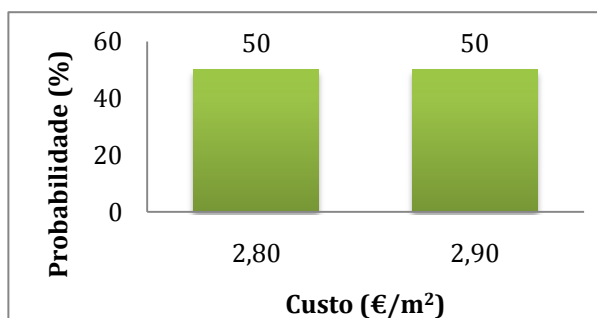
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção das Reparações Ligeiras

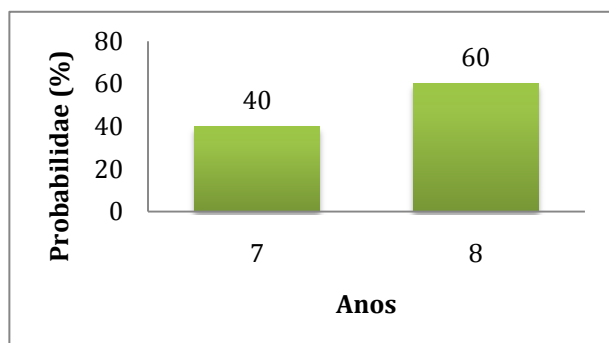


Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras

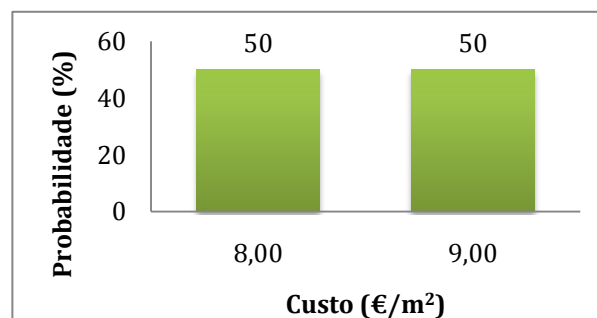


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção de Substituição

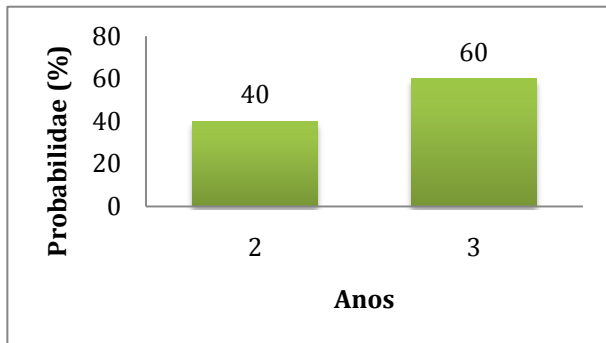


Custo de Intervenção de Substituição

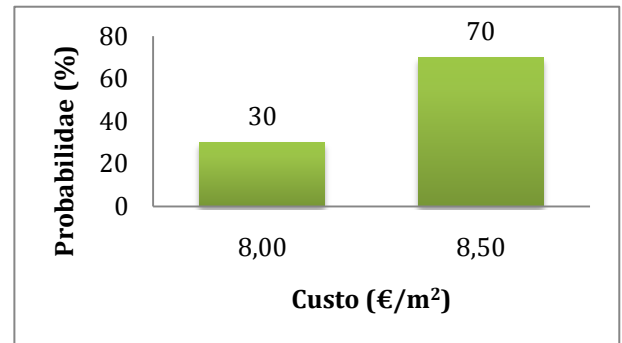


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção das Reparações Pesadas



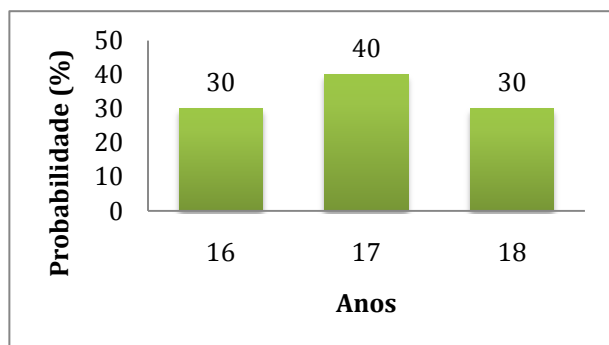
Custo de Intervenção das Reparações Pesadas



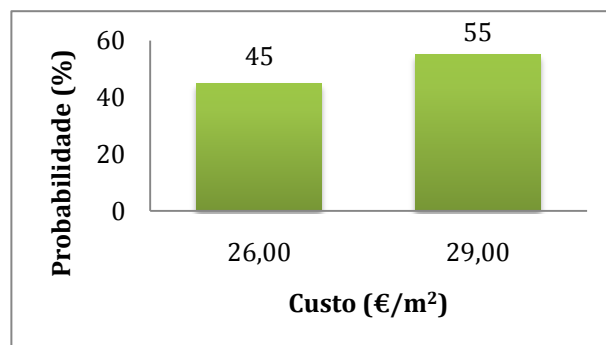
Revestimento Cerâmico

Estratégia: Sem Manutenção

Periodicidade de Intervenção de Substituição

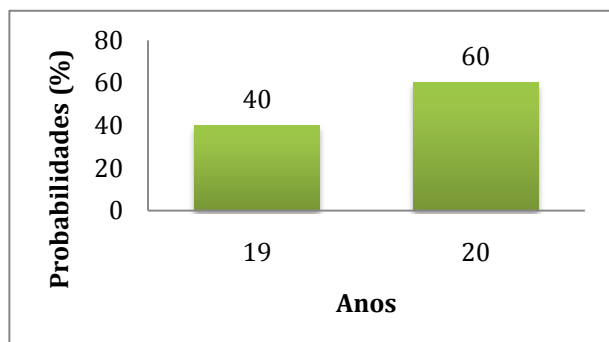


Custo de Intervenção de Substituição

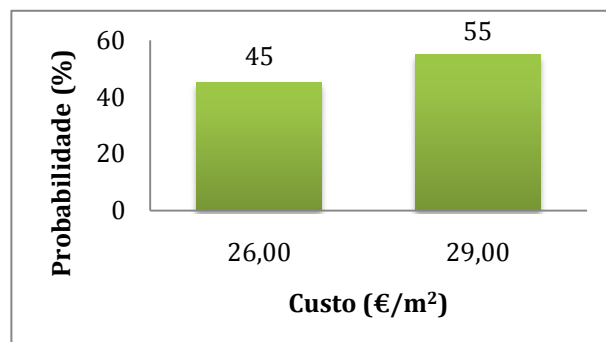


Estratégia: Limpezas

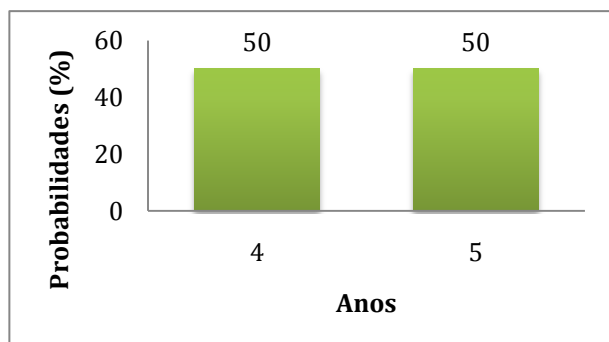
Periodicidade de Intervenção de Substituição



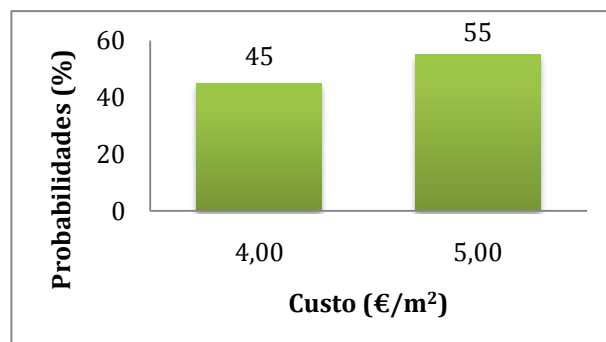
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção de Limpeza

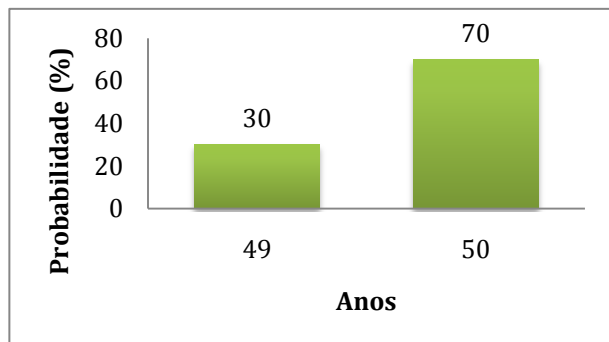


Custo de Intervenção de Limpeza

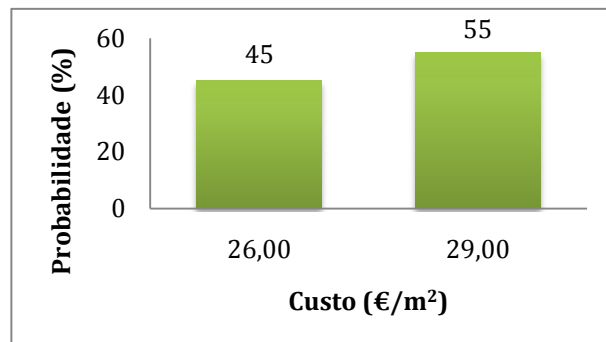


Estratégia: Reparações Ligeiras

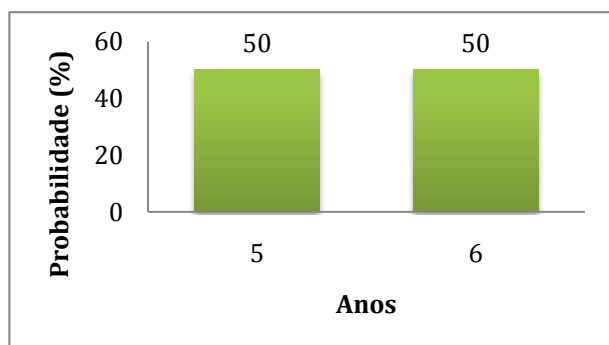
Periodicidade de Intervenção de Substituição



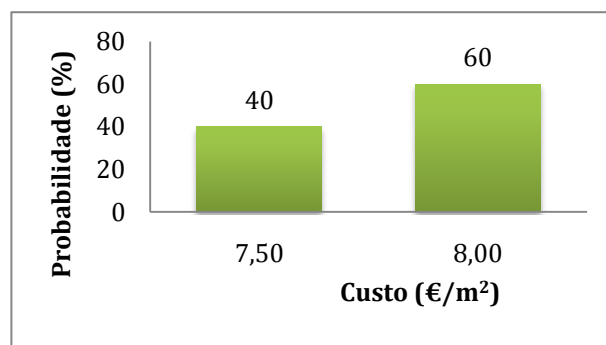
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção das Reparações Ligeiras

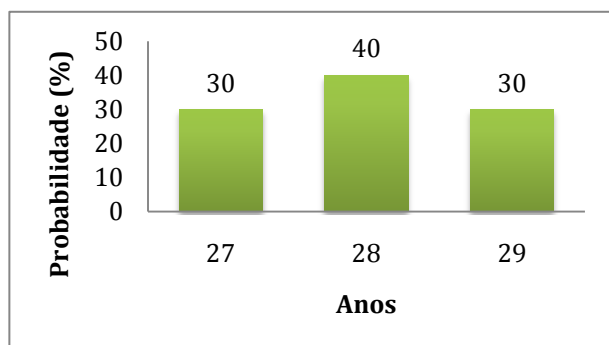


Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras

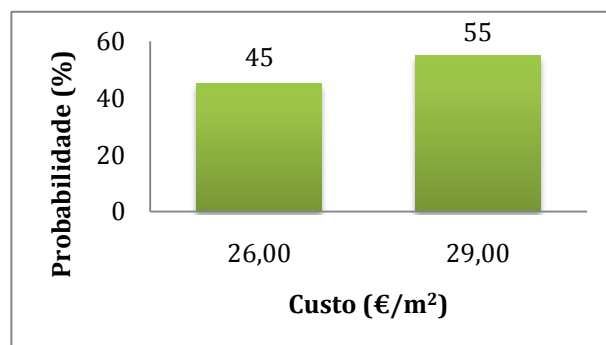


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção de Substituição

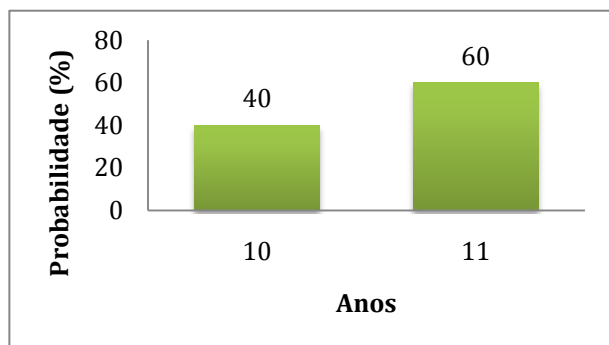


Custo de Intervenção de Substituição

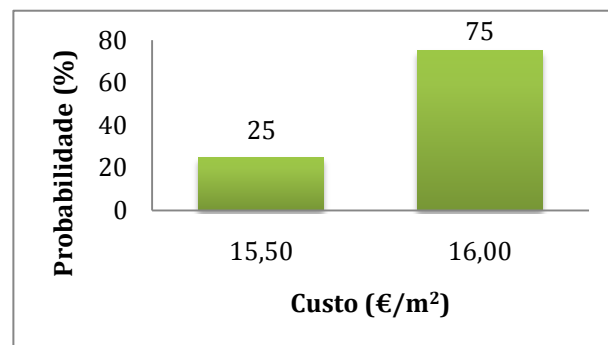


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção das Reparações Pesadas



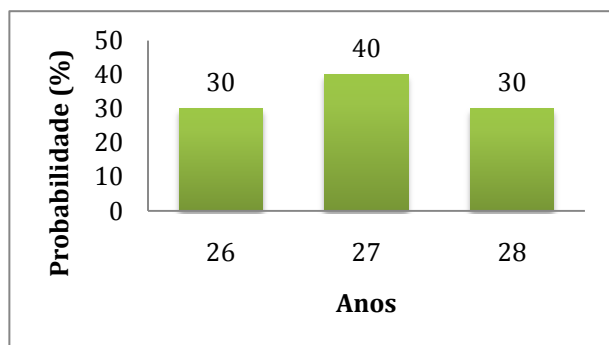
Custo de Intervenção das Reparações Pesadas



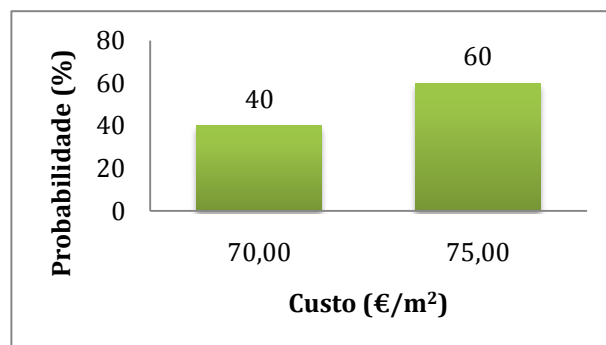
Revestimento em Pedra Natural

Estratégia: Sem Manutenção

Periodicidade de Intervenção de Substituição

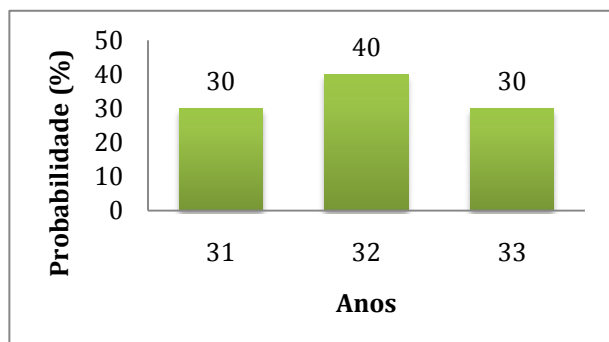


Custo de Intervenção de Substituição

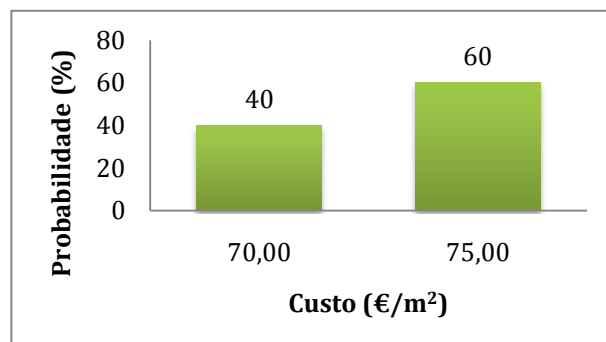


Estratégia: Limpezas

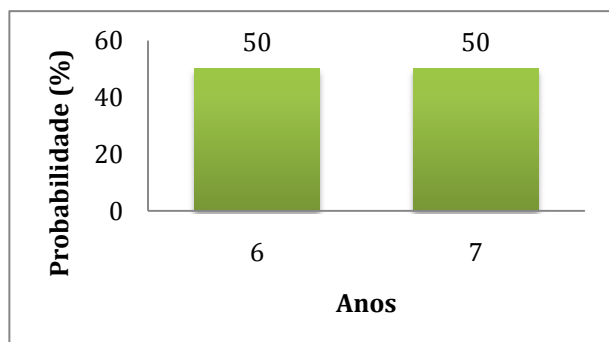
Periodicidade de Intervenção de Substituição



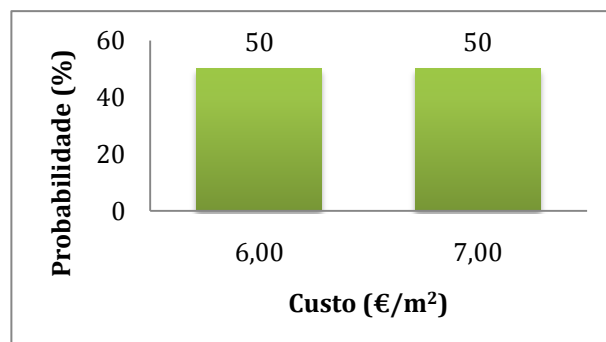
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção de Limpeza

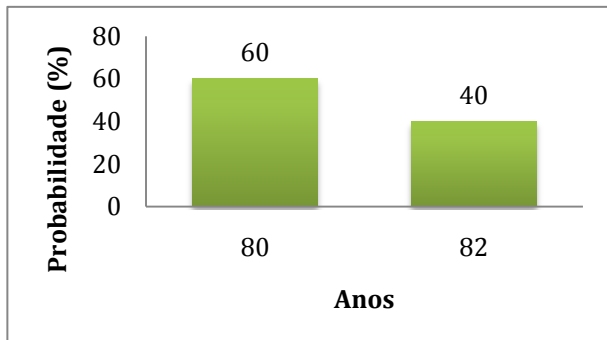


Custo de Intervenção de Limpeza

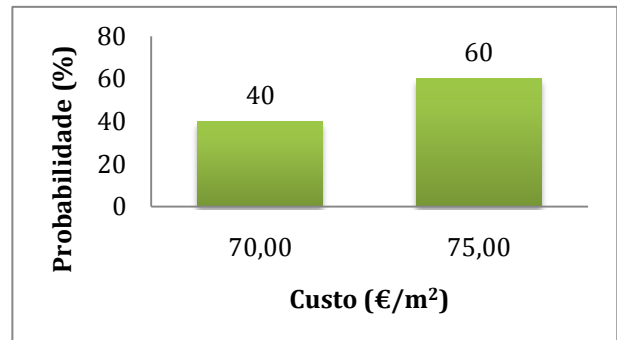


Estratégia: Reparações Ligeiras

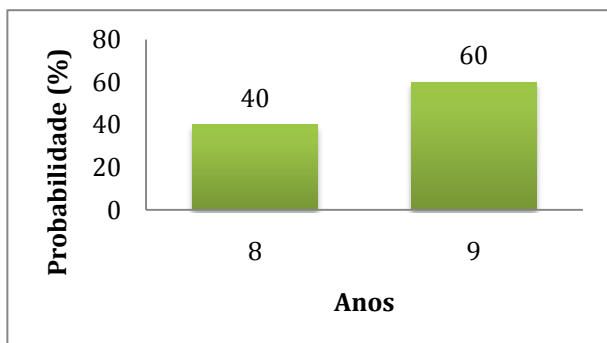
Periodicidade de Intervenção de Substituição



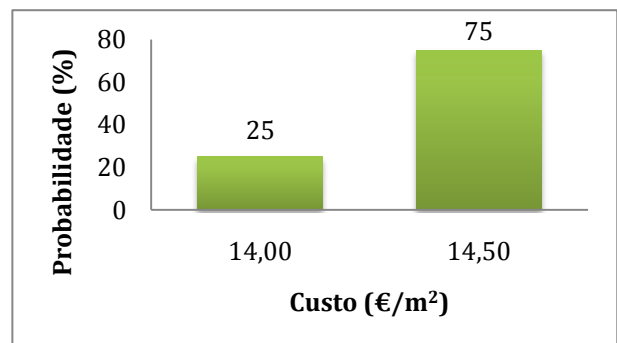
Custo de Intervenção de Substituição



Periodicidade de Intervenção das Reparações Ligeiras

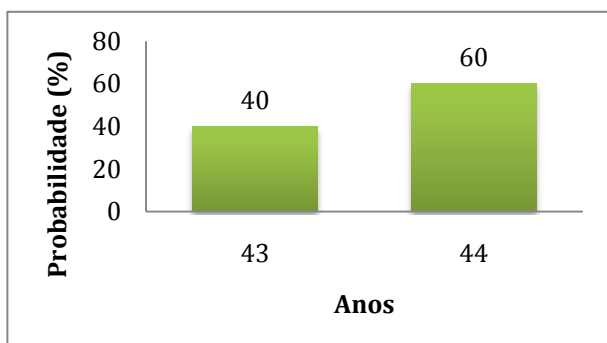


Custo de Intervenção das Reparações Ligeiras

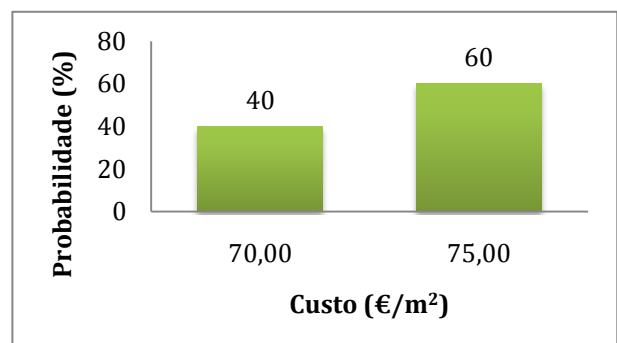


Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção de Substituição

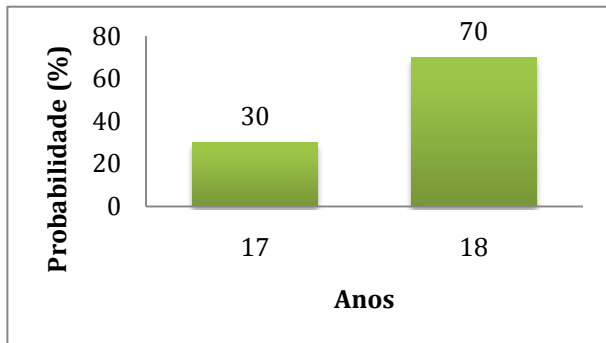


Custo de Intervenção de Substituição



Estratégia: Reparações Pesadas

Periodicidade de Intervenção das Reparações Pesadas



Custo de Intervenção das Reparações Pesadas

