



UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

***MANUTENÇÃO INDUSTRIAL E CUSTO DO CICLO DE
VIDA – EXTRACÇÃO OLEAGINOSAS***

Sofia Gonçalves Marques

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologias para
obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

ORIENTADOR: Professor Dr. José António Mendonça Dias

Monte da Caparica, Outubro de 2009

*Dedico este trabalho à minha mãe,
pelo apoio incondicional*

*“Não devemos limitar o nosso conhecimento a andar por caminhos feitos,
mas sim, abrir outros caminhos em busca de novos horizontes”
(Sofia Marques)*

AGRADECIMENTOS

Quero aqui expressar os meus sinceros agradecimentos, a todas as pessoas que de um modo directo ou indirecto contribuíram para que fosse possível a elaboração desta dissertação.

Em primeiro lugar e como não poderia deixar de ser, os meus sinceros agradecimentos ao Orientador Professor Doutor José António Mendonça Dias. Sem o seu apoio, envolvimento, esforço e sem a sua preciosa ajuda e orientação, este trabalho não teria sido possível de modo algum. Um muito obrigado pelas sugestões e recomendações que foram sendo feitas ao longo deste trabalho, pela partilha de conhecimentos e também pela sua disponibilidade.

Agradeço também ao Eng.º Luís Lino Baptista da Sovena Oilseeds Portugal, pelo seu apoio na orientação na parte da empresa, um muito obrigado pelo seu envolvimento e pela disponibilidade que demonstrou ao longo da execução deste trabalho. E como não poderia deixar de ser, quero também agradecer a todos os colaboradores da Sovena Oilseeds, pela simpatia, pela ajuda e disponibilidade que demonstraram.

Agradeço à minha família, em particular à minha mãe e aos meus avós, pelo apoio, pela compreensão e motivação dada incondicionalmente ao longo deste trabalho, sem o qual teria sido muito complicado a conclusão do mesmo.

Por último, um muito obrigado a todos os amigos e colegas que me acompanharam ao longo da realização deste trabalho, pelas suas palavras de apoio e motivação, que de uma ou outra forma permitiram que concluísse este trabalho.

RESUMO

A Manutenção Industrial é normalmente encarada pelas organizações como uma actividade geradora de custos. Deste modo, é necessário desenvolver-se metodologias de apoio à tomada de decisão na Manutenção, que permitam uma gestão eficiente da mesma. Neste sentido, a aplicação integrada do Custo do Ciclo de Vida (CCV) e de métodos de análise estatística da fiabilidade, são uma importante ferramenta de apoio à tomada de decisão na Manutenção Industrial. Esta metodologia permite não só a comparação de diferentes alternativas de investimento, como também tem como *output* a solução que apresenta menor custo global, que permite minimizar custos e maximizar a eficiência do sistema.

A importância da aplicação desta metodologia reside no facto de a estimativa do CCV, que corresponde ao custo total durante o período de vida útil do equipamento, ter como base uma justificação económica centrada na fiabilidade. Pois, a componente estocástica associada ao risco de falha, em sistemas que se exija uma elevada fiabilidade, assume um impacto significativo na estimativa do custo do ciclo de vida.

Esta metodologia foi aplicada numa Unidade Industrial de Extracção de Oleaginosas, como ferramenta de apoio à tomada de decisão, no âmbito de um projecto de investimento. O principal objectivo consistia na identificação da família de equipamentos mais crítica do ponto de vista da função de risco e optar por uma das alternativas de investimento: continuar a fazer manutenção ao actual equipamento, ou investir num equipamento novo. Foi aplicada uma metodologia baseada na fiabilidade e no risco de falha dos equipamentos reparáveis, para avaliar qual o que apresentava menor fiabilidade. Tendo este sido analisado do ponto de vista económico, através do cálculo do CCV. Pelo que através da metodologia proposta, é possível tomar decisões correctas a longo prazo, que aumentem a rentabilidade da empresa.

Palavras-chave: Manutenção Industrial; Custo do Ciclo de Vida (CCV).

ABSTRACT

Industrial Maintenance is usually perceived by organizations as a cost-generating activity. Thus, it is necessary to develop methodologies to support decision making in Maintenance enabling efficient management of it.

In this sense, the integrated application of Life Cycle Cost (LCC) and methods of statistical analysis of reliability, are an important tool to support decision making in industrial maintenance. This methodology allows not only to compare different investment alternatives, as well as output is the solution that has lower overall cost, which allows to minimize costs and maximize efficiency.

The importance of application of this methodology is that the estimate of the CCV, which corresponds to the total cost during the life of the equipment, be based on an economic justification for focusing on reliability. For the risk of failure of a given device may have a significant impact on the cost associated with the life cycle.

This methodology was used in a unit of Industrial Oilseed Extraction as a tool to support decision making in an investment project. Where the main objective was to choose one of the investment alternatives: to continue to maintain the current equipment, or invest in new equipment. A standard methodology based on reliability and risk of failure of equipment repair, to assess which one had a lower reliability. The latter has been analyzed from the standpoint of reliability and economically, through the calculation of CCV. Therefore through the output of the joint application of these methodologies could choose the most profitable solution for the company.

Keywords: Industrial Maintenance; *Life Cycle Cost (LCC)*

ACRÓNIMOS

<i>CCV</i>	Custo do Ciclo de Vida
<i>CMTBF</i>	Tempo Cumulativo Médio entre Falhas
<i>MTBF</i>	Tempo Médio entre Falhas
<i>MTTR</i>	Tempo Médio de Reparação
<i>PHM</i>	Modelo de Riscos Proporcionais
<i>PPH</i>	Processo Poisson Homogéneo
<i>PPNH</i>	Processo de Poisson Não Homogéneo
<i>SR</i>	Sistema Reparável
<i>TPM</i>	Manutenção Produtiva Total
<i>TTR</i>	Tempo de Reparação
<i>VAL</i>	Valor Actual Líquido

SIMBOLOGIA

a	Parâmetro do modelo de Crow
b	Parâmetro do modelo de Crow
$C_{Rect.}$	Custo de Rectificação
$\bar{C}_{Rep.}$	Custo médio de Reparação
$C_{Subst.}$	Custo de Substituição
d_j	Número de elementos que falham em t_j
$f(t)$	Função densidade de probabilidade
$F(t)$	Função cumulativa de probabilidade
$h(t)$	Função de Risco
$h_0(t)$	Função de risco de base não especificada
$H(t)$	Função Cumulativa de Risco
j	Taxa de Actualização
$L(\beta)$	Função de Máxima Verosimilhança
m	Valor médio da Distribuição de Poisson
n_f	Número de falhas
n_j	Número de elementos em risco de falha em t_j
$n_{Rect.}$	Número de Rectificações
$n_{Subst.}$	Número de Substituições
$R(t)$	Função de Fiabilidade
t	Tempo desde a última falha
t_j	Tempo desde a última falha por ordem crescente
T	Tempo de duração do ensaio
$T_{Subst.}$	Tempo de Substituição
$\bar{T}_{Rect.}$	Tempo médio de Rectificação
$\bar{T}_{Rep.}$	Tempo médio de Reparação
U_i	Variável Aleatória
V	Variância da Estatística Log Rank

z_0	Estatística do teste de Laplace
β	Vector dos coeficientes de Regressão $\beta^T = (\beta_1, \dots, \beta_p)$
λ	Taxa de falhas constante – Processo Poisson Homogéneo
λ_0	Taxa de falhas
ν	Valor da estatística do Log Rank
τ	Tempo de vida do sistema no momento da falha
χ_0^2	Valor da estatística do Qui-Quadrado

ÍNDICE DE MATÉRIAS

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1.Âmbito da Investigação.....	1
1.2.Enquadramento.....	2
1.3.Objectivos.....	3
1.4.Organização da dissertação	3
1.5.Metodologia	5
CAPÍTULO 2	8
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1.Manutenção	8
2.1.1.Evolução Histórica da Manutenção	9
2.1.2.Objectivos e Estratégias da Gestão da Manutenção	11
2.1.3.Tipos de Manutenção.....	13
2.1.4.Indicadores de Desempenho da Gestão da Manutenção.....	16
2.1.5.Manutenção e a fiabilidade.....	18
2.2. Estatística das falhas	19
2.2.1.Dados censurados	19
2.2.2.Análise estatística de falhas	20
2.2.3.Métodos não Paramétricos de estimativa da fiabilidade.....	22
2.3. Sistemas Reparáveis (SR).....	24
2.3.1.Tendência dos dados.....	24
2.3.2.Processos de Poisson	27
2.3.2.1.Processo de Poisson homogéneo (PPH)	28
2.3.2.2.Processo de Poisson não Homogéneo (PPNH).....	29
2.3.2.2.1.Modelo de Crow.....	29
2.3.2.2.2.Previsão de ocorrência de falhas	30
2.4. Modelo de Riscos Proporcionais (PHM)	32
2.4.1.Comparação de funções fiabilidade.....	35
2.4.2.Estimativa da função fiabilidade	37
2.4.3.Análise de resíduos	38
2.5. Custo do Ciclo de Vida.....	38
2.5.1.Metodologia de aplicação do CCV	41
2.5.1.1.Definição do problema e objectivos a atingir	42

2.5.1.2. Identificação das alternativas	42
2.5.1.3. Identificação do tempo do ciclo de vida em análise	43
2.5.1.4. Custos do ciclo de vida de um equipamento	43
2.5.1.4.1. Custos de investimento	45
2.5.1.4.2. Custos de Operação	45
2.5.1.4.3. Custos de Manutenção	45
2.5.1.4.4. Custos de não produção	47
2.5.1.5. Estimativa dos custos do ciclo de vida de um equipamento	47
2.5.1.6. Análise Financeira	49
2.5.1.6.1. Estimativa da Taxa de Actualização	49
2.5.1.6.2. Estimativa do VAL	50
2.5.2. Limitações da aplicabilidade do CCV	51
CAPÍTULO 3	52
PROCESSO DE EXTRACÇÃO DE OLEAGINOSAS	52
3.1. Apresentação da empresa	52
3.2. Processo de Extracção	54
3.2.1. Preparação da semente	54
3.2.2. Extracção por solvente	58
CAPÍTULO 4	64
ANÁLISE ESTATÍSTICA DO SISTEMA GLOBAL	64
4.1. Introdução	64
4.2. Análise global do sistema	65
4.2.1. Análise do número de falhas	66
4.2.2. Determinação do Índice Crítico de Falha	68
4.3. Análise de estatística de falhas do sistema global	70
CAPÍTULO 5	76
ANÁLISE ESTATÍSTICA DE FALHAS E DO CCV – LAMINADORES	76
5.1. Introdução	76
5.2. Laminadores – Características e Funcionamento	76
5.2.1. Causas de avaria e análise do órgão mais crítico	78
5.3. Análise individual de falhas dos laminadores	80
5.4. Modelo de Riscos Proporcionais – Laminadores	83
5.4.1. Aplicação do Método de Kaplan-Meier	86

5.4.2. Validação do Modelo – Resíduos de Cox-Snell	90
5.4.3. Previsão do número de falhas do laminador A4	90
5.5. Análise do CCV	92
5.5.1. Identificação do problema	92
5.5.2. Estimativa dos Custos.....	93
5.5.2.1. Estimativa dos Custos de Investimento	94
5.5.2.2. Estimativa dos Custos de Operação.....	94
5.5.2.3. Estimativa dos Custos de Manutenção	96
5.5.2.4. Estimativa dos Custos de não Operação	99
5.5.2.5. Estimativa do CCV	100
5.5.3. Análise financeira	101
5.5.3.1. Estimativa da Taxa de Actualização	101
5.5.3.2. Actualização do CCV para um valor presente	102
CAPÍTULO 6	105
CONCLUSÕES	105
6.1. Conclusões gerais	105
6.2. Recomendações	108
6.3. Sugestões para trabalhos futuros.....	109
BIBLIOGRAFIA	110
ANEXOS	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Metodologia aplicada.....	5
Figura 2.1: Factores influentes no crescimento da importância da manutenção	11
Figura 2.2: Tipos de Manutenção	16
Figura 2.3: Dados censurados.....	20
Figura 2.4: Curva da Banheira.....	25
Figura 2.5: Etapas do CCV	42
Figura 2.6: Custos iniciais <i>versus</i> Custos futuros	44
Figura 2.7: Avaliação Financeira.....	49
Figura 3.1: Entrepasto portuário da Sovena Oilseeds.....	52
Figura 3.2: Sovena Oilseeds Portugal - Antiga Tagol	53
Figura 3.3: Etapas do Processo de Extracção	54
Figura 3.4: Etapas do processo de preparação do grão.....	55
Figura 3.5: Etapas do processo de extracção por solvente.....	59
Figura 3.6: Extractor do tipo “De Smet”	60
Figura 4.1: Causas das avarias do conjunto das 24 famílias de equipamentos.....	66
Figura 4.2: Diagrama de Pareto – Número de avarias.....	67
Figura 4.3: Diagrama de Pareto – Índice Crítico de Falha	70
Figura 4.4: Número acumulado de falhas dos laminadores em função do tempo de vida.....	72
Figura 5.1: Órgãos constituintes dos laminadores	77
Figura 5.2: Origem das avarias do conjunto dos laminadores	78
Figura 5.3: Representação esquemática das avarias dos laminadores	80
Figura 5.4: Avarias individuais dos Laminadores	80
Figura 5.5: Representação dos tempos de falha do laminador A4.....	84
Figura 5.6: Representação da função sobrevivência – Laminadores.....	87
Figura 5.7: Função individual de Sobrevivência Acumulada de cada laminador.....	88
Figura 5.8: Função Acumulada de Sobrevivência	89
Figura 5.9: Resíduos de Cox-Snell - Laminadores	90
Figura 5.10: Actualização de custos – Cenário 1.....	104
Figura 5.11: Actualização de custos – Cenário 2.....	104

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1: Vantagens vs Desvantagens – Manutenção Condicionada	15
Quadro 2.2: Custos da Manutenção	46
Quadro 4.1: Tempo médio de paragem	68
Quadro 4.2: Resumo dos Indicadores de Manutenção	71
Quadro 4.3: Disponibilidade dos Equipamentos	74
Quadro 5.1: Índices de avaria dos componentes do conjunto dos laminadores.....	79
Quadro 5.2: Análise da Taxa de falhas dos laminadores – Teste de Laplace.....	81
Quadro 5.3: Tempo médio de duração dos Rolos.....	83
Quadro 5.4: Resumo do modelo de riscos proporcionais – laminadores.....	85
Quadro 5.5: Modelo final – laminadores	86
Quadro 5.6: Teste log-rank – laminadores A3 e A4	88
Quadro 5.7: Parâmetros do modelo de Crow.....	91
Quadro 5.8: Previsão do número de falhas para o actual laminador	92
Quadro 5.9: Custos de Investimento.....	94
Quadro 5.10: Consumo Energético.....	95
Quadro 5.11: Custos de Operação	95
Quadro 5.12: Custos de Manutenção.....	98
Quadro 5.13: Custos de não Operação.....	99
Quadro 5.14: Estimativa do CCV	100
Quadro 5.15: Estimativa da taxa de actualização	102
Quadro 5.16: Análise Financeira	103

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

- 1.Âmbito da Investigação**
- 2.Enquadramento**
- 3.Objectivos**
- 4.Organização da dissertação**
- 5.Metodologia**

1.1. Âmbito da Investigação

Com a actual situação de crise financeira com que se defrontam as empresas, é cada vez mais importante que estas desenvolvam métodos que permitam de algum modo gerir os seus recursos de modo eficiente. Isto independentemente de que ramo da empresa se trate, seja uma empresa industrial ou de serviços.

No caso das empresas industriais, as quais estão intimamente dependentes dos equipamentos industriais, a Manutenção e a fiabilidade dos equipamentos requer aqui uma especial atenção para a sua gestão. Só uma gestão eficiente destes recursos permitirá uma redução de custos e optimização dos recursos. Assim, a Manutenção deixa de ser uma actividade geradora de custos para a empresa, passando assim a ser encarada em muitos casos como uma actividade crucial para as empresas industriais. Baptista (2007), refere que se deve tomar como ponto de partida na gestão da manutenção, a análise do estado do sistema, pois este é não só afectado pelo processo de produção a que está a ser sujeito, como também pelas acções de manutenção realizadas.

Neste sentido é importante que se desenvolvam metodologias de apoio à tomada de decisão direccionadas para a Gestão da Manutenção, que tenham em conta não só uma vertente de análise da fiabilidade e do risco de falha, mas que também levem em conta uma análise económica e financeira das alternativas em análise. A implementação destas metodologias nas organizações permite que estas consigam não só uma maior rentabilidade dos seus investimentos, como também decidir no presente qual a alternativa que maior rentabilidade trará para a empresa no futuro.

1.2. Enquadramento

A Gestão da Manutenção é uma actividade que assume cada vez maior importância nas organizações nomeadamente nas unidades industriais. Se por um lado, até ao final dos anos 40 a gestão da manutenção se limitava a reparar avarias e substituir peças danificadas nos equipamentos, actualmente verifica-se uma grande evolução deste conceito. Pois as organizações já não se limitam somente a corrigir avarias, mas existe agora uma grande preocupação em desenvolver acções de manutenção que permitam assegurar o bom nível de desempenho dos equipamentos.

Segundo Cabral (1998), a manutenção é hoje uma das áreas mais importantes e actantes da actividade industrial, através do seu contributo para o bom desempenho produtivo, a segurança, a qualidade do produto, as boas relações interpessoais, a imagem, a rentabilidade económica do processo produtivo e a preservação dos investimentos.

Em Dias (2003), consta um estudo recente que foi realizado a 95 empresas industriais portuguesas, a partir do qual se verificou que as empresas se preocupam cada vez mais com a actividade da gestão da manutenção. Cujas preocupações se traduzem através do aumento da manutenção com recurso a meios externos, sendo que as empresas cada vez mais recorrem a empresas especializadas para o efeito. Embora actualmente esta preocupação das empresas com a manutenção seja maior face à uns anos atrás, ainda assim, é necessário melhorar muitas das políticas de manutenção das empresas e desenvolver metodologias eficazes de apoio à gestão da manutenção. Sendo que, segundo o estudo que consta em Dias (2003), ainda existe uma grande ausência de investimento em formação na manutenção por parte das empresas. Verificando-se que no conjunto das 95 empresas inquiridas, apenas 35% incluem as actividades da gestão da manutenção como pertencentes ao seu núcleo de negócios estratégico.

Muito embora actualmente se verifique uma preocupação crescente das empresas com a gestão da manutenção, ainda há muito a desenvolver e a fazer por esta área tão crucial para o bom desempenho das unidades industriais.

No que respeita à decisão de projectos de investimento, verifica-se uma crescente preocupação das empresas na procura de ferramentas de apoio à decisão. No entanto, ainda existem muitas empresas a tomar pequenas decisões tendo apenas em conta alguns factores,

não fazendo uma análise prévia da situação futura.

1.3. Objectivos

Com a globalização mundial e com a crise económica que as organizações enfrentam no seu dia-a-dia, a sua sobrevivência e competitividade face às empresas da concorrência é principal preocupação destas. Neste sentido, as organizações tem vindo a procurar ferramentas de gestão, de apoio à tomada de decisão, que lhes permitam ser mais competitivas na produção e qualidade dos seus produtos, implicando os menores custos possíveis. Assim, a tomada de decisão ao nível da gestão da manutenção assume um papel preponderante nas organizações industriais, na medida em que sendo esta uma actividade que implica alguns custos é necessário racionalizá-los.

Deste modo, o principal objectivo desta dissertação consiste no desenvolvimento de uma metodologia de aplicação integrada dos conceitos da Gestão da Manutenção e do Custo do Ciclo de Vida, como apoio à tomada de decisão em projectos de investimentos em equipamentos industriais. Tendo como base uma situação de contexto real na indústria do óleo – Extração de Oleaginosas.

Através da aplicação desta metodologia pretende-se fazer uma análise estatística das falhas dos vários equipamentos que constituem o sistema reparável (unidade industrial), recorrendo-se a métodos como o Modelo de Riscos Proporcionais e o método de Kaplan-Meier. Pelo que a aplicação destes métodos permitirá identificar não só a família de equipamentos mais crítica, como também qual dos equipamentos da família é o mais crítico do ponto de vista da fiabilidade e da função de risco.

Pretende-se então fazer uma análise financeira, através do cálculo do *CCV*, a qual tendo como base a análise da fiabilidade do equipamento, permitirá chegar à solução mais rentável para a empresa. Seja fazer a manutenção do actual equipamento, ou investir num equipamento novo.

1.4. Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada de acordo com uma sequência lógica de análise, no âmbito do objectivo a atingir. Sendo a organização da mesma descrita de um

modo resumido nos parágrafos seguintes.

No presente Capítulo 1, é feita a apresentação do âmbito desta dissertação, quais os principais objectivos e respectiva organização. Para além disso, neste capítulo encontra-se também uma breve descrição da metodologia utilizada ao longo deste trabalho.

O Capítulo 2 é dedicado à pesquisa bibliográfica realizada no âmbito do tema em estudo (Manutenção Industrial e Custo do Ciclo de Vida), no qual se apresentam e descrevem alguns conceitos utilizados ao longo desta dissertação, aspectos cuja compreensão é fundamental para melhor entendimento do tema. Para além da breve descrição histórica da Manutenção nos últimos anos, é também apresentada a descrição dos métodos e pressupostos utilizados no âmbito deste estudo, tais como o Modelo de Riscos Proporcionais, o método de Kaplan-Meier e o Custo do Ciclo de Vida. Procurando o enquadramento destes, com as técnicas estatísticas utilizadas em fiabilidade.

A descrição da empresa subjacente a este caso prático, bem como o respectivo processo de extracção em estudo, é explicado no Capítulo 3. Neste capítulo para além do âmbito da empresa e respectiva área de actuação, consta também a descrição detalhada do processo de extracção de óleo. Sendo que ao longo da descrição deste, vão sendo identificadas as várias famílias de equipamentos do sistema reparável.

No Capítulo 4 é feita uma análise a todas as famílias de equipamentos do sistema reparável (unidade industrial), de acordo com o Índice Crítico de Falha e com uma análise de Pareto. Identificando deste modo os tempos não produtivos de cada família de equipamentos. Com base nesta, é feita uma análise estatística ao conjunto de famílias mais críticas do ponto de vista da fiabilidade, de acordo com os indicadores da manutenção. Permitindo deste modo, no final deste capítulo identificar a família de equipamentos que mais interesse tem analisar, quer do ponto de vista da fiabilidade, como em termos de análise financeira.

No Capítulo 5 apresenta-se a análise aos laminadores, tendo esta análise incidido nas características dos equipamentos e suas funcionalidades, causas de avaria, análise estatística com aplicação do Modelo de Riscos Proporcionais e método de Kaplan-Meier. Com base nesta análise da fiabilidade é feito o estudo do custo do ciclo de vida, tendo

como base uma análise financeira, que permitirá no fim, auxiliar a decisão na opção por uma das alternativas de investimento.

Por último no Capítulo 7, encontram-se as conclusões gerais que deste estudo se pode tirar, bem como algumas recomendações à empresa e para trabalhos futuros na área.

1.5. Metodologia

A metodologia proposta nesta dissertação pretende combinar de forma integrada os conceitos de fiabilidade e gestão da manutenção e o conceito de custo de ciclo de vida, tendo como ponto de partida a análise de uma base de dados em *Excel*.

A metodologia aplicada na presente dissertação, é apresentada de modo resumido, no esquema da figura seguinte.

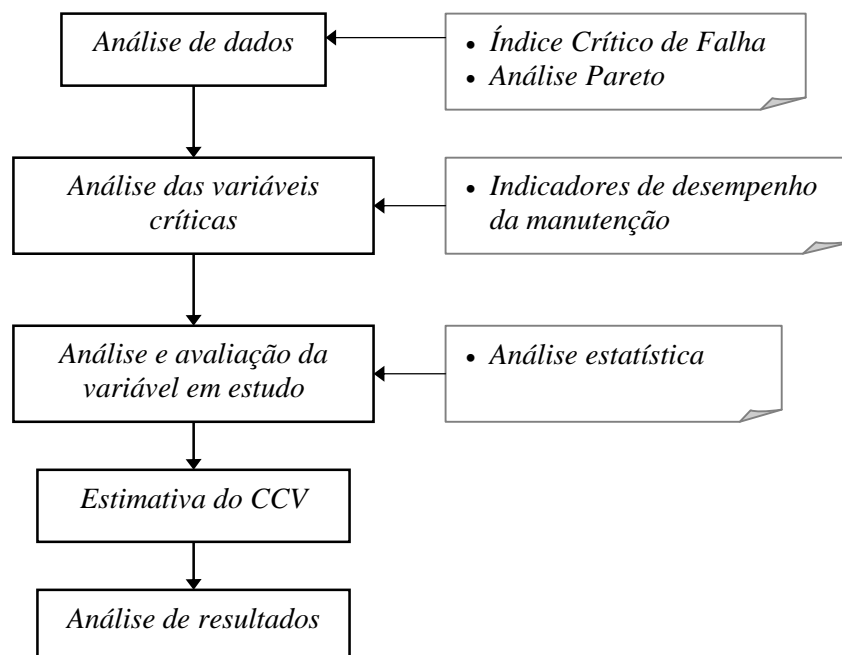


Figura 1.1: Metodologia aplicada

A primeira etapa da aplicação desta metodologia consiste na análise ao histórico dos dados das avarias dos equipamentos, referente ao período em estudo (15 de Agosto de 2007 a 28 de Fevereiro de 2009). Esta análise de dados inicia-se com o tratamento dos mesmos, através da sua organização por famílias, facilitando deste modo não só o tratamento dos

mesmos, com também a respectiva análise. De seguida estes são analisados através da determinação do Índice Crítico de Falha. Sendo que recorrendo a uma análise de Pareto, é possível identificar as variáveis críticas. Isto é, identificar as famílias de equipamentos mais críticas do ponto de vista da função fiabilidade.

Posteriormente, é feita uma análise das variáveis críticas com base nos indicadores de desempenho destas, sendo que deste modo é possível chegar à conclusão de qual a variável mais interessante para estudar. A qual deverá ser convenientemente analisada e avaliada de acordo com uma análise estatística, tendo esta análise estatística como suporte informático o *software SPSS* e *STATISTICA*.

O *software SPSS (Statistical Package for Social Sciences)* é uma das aplicações de tratamento estatístico de dados mais utilizadas no mundo, que permite controlar e interpretar dados estatísticos de forma precisa e eficaz. Este *software* tem grande aplicabilidade ao nível de análise de modelos de regressão, análises estratificadas, covariáveis dependentes do tempo, técnicas de construção do modelo, dados censurados e de validação de modelos. É ainda um *software* de fácil usabilidade do ponto de vista do utilizador, dado que o seu manuseamento e apresentação é de algum modo semelhante às aplicações do *Windows*.

O *software STATISTICA* é também uma ferramenta com algumas das metodologias estatísticas mais utilizadas. Embora seja tal como o *SPSS*, uma ferramenta da análise estatística, ainda assim apresenta algumas funcionalidades que não se encontram no *SPSS*. Sendo que a utilização integrada destes dois *softwares* permite fazer uma análise mais pormenorizada dos dados. Este *software* tem aplicabilidade ao nível de análises descritivas de dados, intervalos de confiança, testes de ajuste de distribuição de dados, testes não paramétricos, regressão linear, entre outros.

Dado que a análise do Custo do Ciclo de Vida, não é um método que seja aplicável de forma rápida, exigindo algum cálculo e compreensão das várias parcelas que o constituem, este só deve ser aplicado ao conjunto de equipamentos em análise, neste caso os mais críticos do ponto de vista da fiabilidade. Portanto, a estimativa deste só faz sentido após a análise estatística dos equipamentos, daí que a estimativa do *CCV* seja das últimas etapas da aplicação desta metodologia.

Após a aplicação da metodologia desenvolvida, com base na integração dos métodos de fiabilidade, gestão da manutenção e análise do custo do ciclo de vida e tendo em

consideração os resultados obtidos, deverá ser possível tomar uma decisão que seja rentável para empresa e que vá de encontro aos objectivos desta.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Manutenção
2. Estatística das Falhas
3. Sistemas Reparáveis (SR)
4. Modelo de Riscos Proporcionais (*PHM*)
5. Custo do Ciclo de Vida

2.1. Manutenção

Todos os equipamentos, sistemas e instalações, sejam eles mecânicos, eléctricos, electrónicos, pneumáticos ou hidráulicos, com o decorrer do tempo, estão sujeitos à degradação das suas condições normais de funcionamento, afectando o desempenho das tarefas para as quais foram especificados. É nestes casos que a manutenção intervêm, onde a principal missão é repor a operacionalidade destes, para que consigam desempenhar com a máxima eficiência as funções para as quais foram concebidos. Pelo que para tal a manutenção recorre a acções como lubrificação, limpeza, reparação, calibração, substituição, controlo da condição, entre outras.

A manutenção é definida como sendo o conjunto de acções que permitem manter ou restabelecer um bem a um estado específico, ou ainda, assegurar um determinado serviço (Mirshawka, 1991).

Segundo Cabral (1998), a manutenção consiste num conjunto de acções destinadas a encontrar um ponto de equilíbrio entre o benefício e o custo que maximiza o contributo positivo da manutenção para a rentabilidade geral das organizações. Tendo esta como principal objectivo, situar o nível da manutenção neste ponto de equilíbrio.

Na vasta literatura da área da manutenção, verifica-se que a definição do conceito de manutenção pode ser definido de acordo com as várias abordagens feitas por cada autor.

Pelo que de um modo geral, a manutenção pode ser definida como um conjunto integrado de tarefas que vão sendo desenvolvidas ao longo do ciclo de vida dos equipamentos, sistemas ou instalações, com o objectivo de manter ou repor a máxima operacionalidade destes nas melhores condições de qualidade, segurança, disponibilidade e custo.

Tal como refere Costa (2001), a manutenção industrial é uma área fundamental na modernização da gestão de qualquer unidade industrial.

2.1.1. Evolução Histórica da Manutenção

A manutenção é uma actividade que tem vindo a sofrer alterações ao longo dos tempos. Sendo essas alterações influenciadas pelo índice de desenvolvimento tecnológico e pela influência que os equipamentos e máquinas tem vindo a exercer nas organizações.

No século XVIII aquando da Revolução Industrial, a manutenção era uma actividade que não fazia parte das empresas industriais, sendo que a complexidade das máquinas era pequena, o uso de equipamentos/máquinas era pouco frequente e nos casos de trabalho com equipamentos/máquinas o operador era o responsável pela sua manutenção. De referir ainda que nesta altura as máquinas requeriam pouca manutenção, senão mesmo nenhuma. Pois, as máquinas eram relativamente simples e uma avaria era de fácil reparo.

É então no século XIX que surge a electricidade, as máquinas a vapor e os motores, juntamente com estes surgem as primeiras equipas de pessoal especializado em manutenção, sendo que é nesta altura que começa a ser necessário uma maior agilidade na manutenção e reparação dos equipamentos. Se bem que assim se pode afirmar, é nesta altura que as organizações industriais começam a dar alguma importância à manutenção dos equipamentos. Tal preocupação surge subjacente à antecipação da Primeira Guerra Mundial, é nesta altura que as fábricas sentem a necessidade de estabelecer programas mínimos de produção, sentido a necessidade de criar programas de manutenção correctiva para os equipamentos. Isto com o objectivo de conseguir efectuar as reparações no menor tempo possível.

É durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918), que os equipamentos assumem um papel muito importante na economia mundial. É subjacente a esta necessidade de manter e

ter sempre os equipamentos em bom estado, que surgem equipas especializadas na manutenção correctiva. No entanto, este tipo de manutenção revela-se uma prática pouco fiável, na medida em que a produtividade dos sistemas é baixa, o tempo médio entre falhas é baixo, a qualidade de serviço é inconstante e os custos neste tipo de manutenção são elevados. É portanto mais tarde na Segunda Guerra Mundial (1939-1945) que surge o conceito de Manutenção preventiva impulsionado pela indústria aeronáutica. Aqui passam a ser consideradas acções de manutenção planeada aos equipamentos, lubrificações e verificação periódica dos equipamentos das instalações.

Mais tarde, por volta dos anos 60, a crise do petróleo vem provocar grandes impactos nos custos de produção, sendo necessário racionalizar custos de manutenção, surgindo então o conceito de Engenharia da Manutenção. Este conceito traz para além de uma preocupação com a manutenção preventiva e correctiva, também uma preocupação com os custos que esta implica. É nesta altura que surge então o conceito de “manutenção condicionada”, onde a prevenção da ocorrência das falhas passa a ser feita através da monitorização das condições dos equipamentos e instalações.

No início da década de 70, os Sistemas de Produção da Toyota criam e desenvolvem uma técnica de manutenção designada por *TPM (Total Productive Maintenance)*. Sendo que esta técnica se baseia nos seguintes pontos:

- Melhorias individualizadas nos equipamentos;
- Manutenção autónoma;
- Manutenção planeada;
- Formação;
- Manutenção da Qualidade;
- Controlo inicial;
- Higiene, segurança e controlo ambiental;
- *TPM* nos Escritórios.

Desde então e até aos dias de hoje, outras técnicas tem vindo a ser desenvolvidas, no entanto, ainda existe um longo caminho a percorrer. É necessário que cada vez mais as organizações encarem a manutenção como uma ferramenta essencial para o aumento de produtividade e eficiência das as organizações. Pois, só deste modo as organizações conseguem uma maior disponibilidade dos seus equipamentos/instalações, permitindo-lhes

assim um aumento de produção, com maior qualidade e menores custos de manutenção. Ainda assim, sente-se um crescimento da importância que a manutenção assume para as empresas como um vector fundamental de economia das mesmas, sendo que essa importância se deve a factores como os que se encontram representados no esquema da figura seguinte.

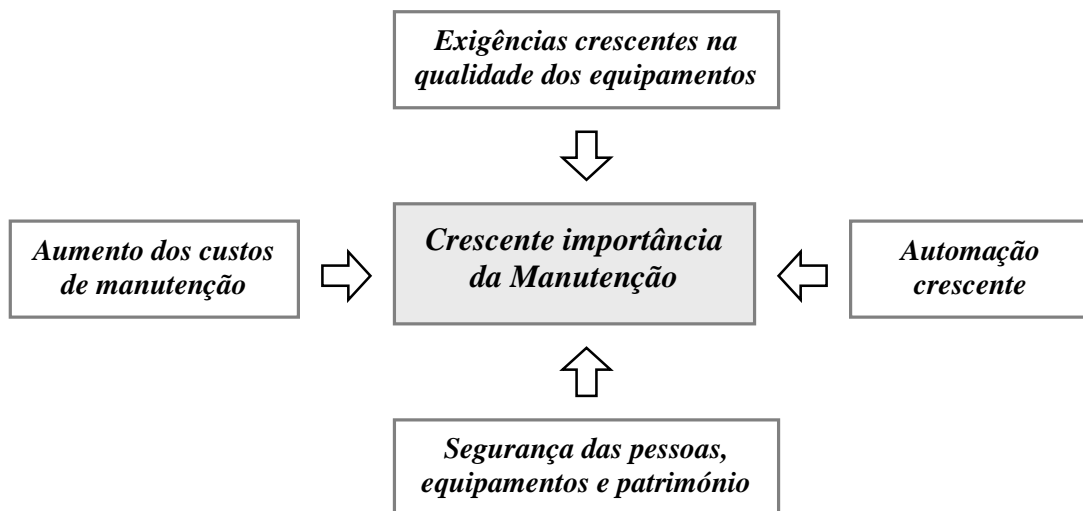


Figura 2.1: Factores influentes no crescimento da importância da manutenção

2.1.2. Objectivos e Estratégias da Gestão da Manutenção

Segundo Cabral (1998), o principal objectivo da gestão da manutenção é assegurar o bom funcionamento das máquinas e instalações, garantindo que estas são intervencionadas no momento e com o alcance certo, de modo a evitar que avariem ou baixem de rendimento. Sendo que caso avariem, estas sejam repostas em boas condições para desempenho da sua função, com a maior brevidade e a um custo optimizado.

Os objectivos da manutenção industrial tem cada vez mais que estar alinhados com os objectivos globais das organizações, pois a manutenção afecta a rentabilidade do processo produtivo, tanto por via da sua influência no volume de produção, como na qualidade do produto, como no custo de produção. Subjacente a toda uma politica de manutenção estão custos associados e são esses custos que em muitos casos inibem as organizações na implementação de medidas de manutenção. Pelo que o segredo e o desafio para a maioria

das empresas está em encontrar o ponto de equilíbrio entre o benefício e o custo que maximize o contributo positivo da manutenção para a rentabilidade geral da empresa.

Deste modo a gestão da manutenção tem como principal objectivo, actuar ao nível:

- Recursos Humanos, proporcionando condições de segurança, condições de trabalho e de protecção do meio ambiente;
- Técnico, actuando ao nível da disponibilidade e durabilidade dos equipamentos, bem como condições e funcionamento das instalações;
- Económico, proporcionando menores custos directos, menor imobilizado em peças de reserva, economia de energia e o enriquecimento da empresa.

Alguns destes aspectos são também referidos em Pinto (1999), como sendo aspectos a considerar numa estratégia focalizada na maximização da disponibilidade dos equipamentos e minimização dos custos. O autor refere que são estes aspectos que levam a equipa da gestão da manutenção à definição de políticas de manutenção dos equipamentos, investimentos em manutenção e intervenção da estrutura de manutenção em novos projectos.

Esta é uma das áreas técnicas que mais importância deverá ter nas empresas industriais, actuando ao nível de:

- Programa e planeamento da manutenção;
- Coordenação dos recursos afectos à manutenção;
- Registo de dados relativos a avarias, substituições e reparações de equipamentos e/ou instalações.

Para uma eficiente gestão da manutenção é necessário que seja feito sempre o registo de dados relativos a avarias dos equipamentos/instalações, bem como respectiva análise dos mesmos. Pois, não é possível fazer uma correcta gestão da manutenção, bem como tomar decisões correctas na ausência de dados ou perante dados incorrectos ou desactualizados. Para tal, pode-se analisar diversa informação, sendo que para tomadas de decisão ao nível da manutenção a informação mais importante é relativa a:

- Tempos (reparações, substituições, não produção, etc.);
- Custos (manutenção, reparação, etc.);

- Índices (disponibilidade, capacidade, ocupação, etc.);
- Informações técnicas (peças, recomendações do fabricante, desenhos, etc.).

Todas estas informações são relevantes no apoio à tomada de decisão no âmbito da manutenção. Sendo que deste modo é possível alcançar, menores custos directos e indirectos, acréscimos na qualidade, menor imobilizado em peças de reserva, aumento da produtividade reduzindo tempos de não produção, entre outros. Para tal ser possível, é preciso estabelecer objectivos e traçar estratégias para alcançar os mesmos. De acordo com o que consta em Dias (2002), estas estratégias de manutenção dependem não só dos aspectos organizacionais da empresa, como também da forma como são reparados e substituídos os diversos componentes ou subsistemas. Deste modo, existem diversos tipos de estratégias de manutenção (preventiva, correctiva ou pró-activa), variando estas consoante a política da empresa e os objectivos a atingirem.

2.1.3. Tipos de Manutenção

Para que se entenda o conceito de manutenção no âmbito industrial é também necessário entender os diferentes modos de actuação na manutenção. Os quais se enunciam e descrevem de seguida (de notar que a denominação destes pode variar consoante a bibliografia consultada).

Segundo Cabral (1998), os grandes tipos de manutenção subdividem-se em:

➤ **Manutenção de melhoria:** neste tipo de manutenção preventiva, assume-se que as avarias ocorrem segundo a curva da banheira, deste modo, a periodicidade da manutenção é planeada de modo a que os vários constituintes se mantenham a funcionar na parte inferior da curva. Portanto, é feita a substituição ou revisão em dados intervalos de tempo, ainda que o equipamento se apresente em bom estado de funcionamento. Entende-se como actividades de manutenção preventiva sistemática, os seguintes tipos de trabalho (Cabral, 1998): Calibração, Inspeção e Lubrificação.

➤ **Manutenção preventiva:** entende-se por manutenção preventiva todos os procedimentos que são tomados de forma a reduzir ou evitar a ocorrência de falhas nos

equipamentos, actuando de modo a evitar a ocorrência da avaria. Sendo que para tal, se obedece a um planeamento periódico executado previamente. De referir que esse período de tempo se denomina de *MTBF* (do inglês, *Mean Time Between Failures*), o que significa tempo médio entre falhas e conhecendo este é possível actuar nos equipamentos/instalações de modo a prevenir a ocorrência da falha. Apesar das vantagens que este tipo de manutenção apresenta, ainda assim, quando aplicada isoladamente pode tornar-se numa manutenção muito dispendiosa e ineficiente. A manutenção preventiva subdivide-se em:

- **Manutenção sistemática:** neste tipo de manutenção preventiva, assume-se que os equipamentos apresentam uma taxa de falhas constante. Portanto, é feita a substituição ou revisão em dados intervalos de tempo, ainda que o equipamento se apresente em bom estado de funcionamento. Este tipo de manutenção é normalmente aplicado a equipamentos com elevados custos de avaria, equipamentos cujas avarias provocam grandes tempos de não produção e também a equipamentos cujas avarias podem por em causa a segurança das pessoas.

- **Manutenção condicionada:** consiste na monitorização de um dado equipamento, sendo que se resume à observação de variáveis externas que permitem não só caracterizar o estado interno do equipamento, como também prever a tendência de evolução do mesmo. Sendo que se intervém apenas quando houverem indícios de mau funcionamento. Deste modo, será possível evitar acções de manutenção desnecessárias, minimizando também a probabilidade de ocorrência de falha. Destacando-se neste tipo de manutenção actividades como: controlo de vibração, termografia, monitorização eléctrica, estudo do comportamento das superfícies em contacto, ultra-som.

Esta gestão da manutenção para além de um vantajoso acompanhamento dos equipamentos, apresenta também algumas desvantagens, pelo que no quadro seguinte se apresentam as vantagens e desvantagens da aplicação deste tipo de manutenção.

Quadro 2.1: Vantagens vs Desvantagens – Manutenção Condicionada

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
-Redução do consumo e do número stock de peças de reserva; -Redução das intervenções de manutenção; -Redução de acções de manutenção correctiva.	-Requer pessoal habilitado para a execução destas acções; -Necessidade de controlar os equipamentos de medida; -Implica uma gestão individualizada da programação das intervenções.

➤ **Manutenção Correctiva:** só acontece após a ocorrência da falha do equipamento e destina-se a reparar avarias e maus funcionamentos. Do ponto de vista económico e produtivo é uma manutenção muito penalizante, na medida em que este tipo de manutenção requer um inventário significativo de peças de reserva, implica elevados custos de reparação e é muito imprevisível em termos de disponibilidade dos equipamentos.

Márquez (2007) assume outro critério de divisão dos tipos de manutenção, considerando que a manutenção se subdivide em apenas dois grandes grupos: manutenção preventiva e manutenção correctiva. Para o autor a manutenção preventiva é definida como uma manutenção que é feita em intervalos de tempo predeterminados ou de acordo com determinados critérios, tendo como objectivo reduzir a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento dos equipamentos. Sendo que a manutenção preventiva pode ser ainda condicional ou pré-determinada, tal como consta no esquema da figura 2.2. O autor define manutenção condicional como uma manutenção que se baseia na performance e/ou nos parâmetros de monitorização, podendo estas acções de monitorização ser ou não planeadas. O autor refere ainda que a manutenção preventiva condicional pode também ser uma manutenção predictiva. E entende como manutenção pré-determinada a manutenção preventiva realizada de acordo com intervalos de tempo pré-estabelecidos ou unidades de utilização, mas sem investigação prévia da condição do equipamento.

A manutenção correctiva consiste na manutenção realizada após a ocorrência da falha, com o objectivo de devolver ao equipamento as condições necessárias para que este possa desempenhar as funções para as quais está preparado. Neste sentido, verifica-se que embora os tipos de manutenção tenham o mesmo fundamento, no entanto a divisão/organização destes varia de acordo com a literatura consultada.

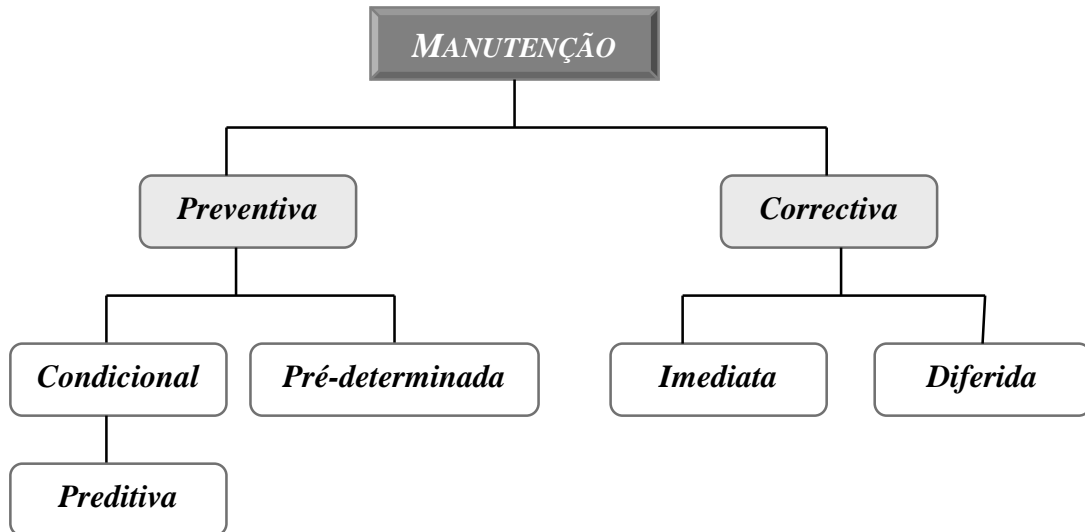


Figura 2.2: Tipos de Manutenção

2.1.4. Indicadores de Desempenho da Gestão da Manutenção

Na manutenção tal como em muitas outras áreas, também se utilizam indicadores de desempenho, pois através destes é possível analisar e compreender o ritmo a que ocorrem as avarias, os tempos de reparação, a disponibilidade dos equipamentos, bem como o sucesso da política de manutenção da empresa (Cabral, 1998). Na Gestão da manutenção, é preciso dar especial atenção a estes indicadores, para se conseguir uma boa gestão dos mesmos. É importante salientar que, como o próprio nome indica são apenas indicadores de apoio à tomada de decisão, não devendo por isso ser determinantes na tomada de decisão.

É desaconselhável a utilização de muitos indicadores simultaneamente, pois muitas vezes só dificulta a análise e avaliação do problema. Portanto, sempre que possível, deverá identificar-se o problema a analisar e consoante este, seleccionar o indicador que melhor permitir compreender e analisar a situação. Segundo Cabral (1998), para decidir qual dos indicadores utilizar, deverá ponderar-se se o mesmo será útil para:

- Tomada de decisão de gestão;
- Comparação da actividade entre anos diferentes,
- Avaliar os benefícios de uma dada política de manutenção;
- Análise do orçamento da manutenção;
- Identificação de problemas.

De referir que existem vários indicadores de desempenho, uns mais usuais que outros, podendo estes variar consoante a literatura consultada. Os indicadores da gestão da manutenção mais conhecidos e também os mais referenciados na literatura são o *MTBF*, o *MTTR* e a disponibilidade do equipamento.

O tempo médio entre falhas (*MTBF*), cuja abreviatura deriva do Inglês *Mean Time Between Failures*, consiste no tempo que decorre entre duas avarias consecutivas. Isto é, o tempo que decorre entre o fim da última reparação e o início da próxima reparação. Pelo que este indicador representa a esperança matemática das avarias do seguinte modo.

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.1)$$

No entanto, este também pode ser definido como sendo o inverso da taxa de avarias, quando esta é constante, tal como consta na expressão seguinte.

$$MTBF = \hat{\theta} = \frac{1}{\hat{\lambda}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n_f} = \frac{T}{n_f} \quad (2.2)$$

Em que T , corresponde tempo total de duração do ensaio e n_f ao número de falhas. Note-se que se deve ter especial atenção na utilização deste indicador, pois o cálculo do mesmo requer um conhecimento do tempo diário de funcionamento da máquina, pelo que é significativo se o equipamento funciona durante 8 horas por dia ou 24 horas por dia.

Um outro indicador é o tempo médio entre falhas *MTTR*, do inglês *Mean Time To Repair*. Segundo Cabral (1998), este consiste no tempo dedicado à reparação, que engloba o tempo de diagnóstico da avaria, tempo de alocação dos recursos necessários, tempo efectivo da reparação e o tempo de teste e entrega do equipamento. Sendo que este depende do plano de reparação, da sequência do trabalho, bem como da produtividade da equipa da manutenção. Este é definido pela expressão,

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{n_f} \quad (2.3)$$

Onde TTR (*Time To Repair*), corresponde ao tempo de reparação da avaria de determinado componente e n_f ao número de falhas.

Este indicador encontra-se intimamente relacionado com a manutibilidade dos sistemas. Pois, esta manutibilidade é definida como sendo a probabilidade de recuperar um item e repô-lo a funcionar nas condições normais de serviço num intervalo de tempo TTR . Pelo que o $MTTR$ representa a média dos valores TTR obtidos para um dado sistema.

Por último, e não menos importante, o indicador da disponibilidade (D) que é definido como a probabilidade de determinado equipamento estar disponível para operar quando necessário. Este indicador depende de parâmetros como: a taxa de avarias do equipamento e a viabilidade para reparação ou substituição. Sendo esta disponibilidade determinada através da expressão seguinte,

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.4)$$

2.1.5. Manutenção e a fiabilidade

O conceito de fiabilidade tal como o conceito da manutenção, é um conceito muito vasto, pelo que a sua definição pode variar conforme a literatura consultada.

Segundo Leitão (1989), a ciência da fiabilidade teve origem nos últimos 35 anos, devido à necessidade de impulsionar o desenvolvimento tecnológico dos sistemas (equipamentos). Sendo esta definida segundo o autor como a capacidade de um “bem” desempenhar a sua função específica em condições definidas por um determinado período de tempo.

Em Ireson *et al.* (1996) a fiabilidade é definida como sendo a habilidade e capacidade do produto, equipamento ou sistema para desempenhar determinada função, num dado ambiente durante determinado período de tempo.

A manutenção industrial e a fiabilidade são conceitos que embora tenham surgido aproximadamente na mesma época, a aplicação conjunta de ambos, aos equipamentos industriais só acontece alguns anos depois. Sendo que actualmente são conceitos

indissociáveis. Pois, para se conseguir melhorar a manutenção realizada aos equipamentos é importante que se conheça a fiabilidade destes.

2.2. Estatística das falhas

Antes de se iniciar uma análise de falhas a um sistema, é necessário compreender um conceito básico subjacente a esta análise, que é o conceito de falha ou avaria.

Segundo Cabral (1998), o conceito de avaria consiste na degradação ou cessação da aptidão de um equipamento/instalação para determinar uma dada função. Referindo ainda, que este conceito está não só relacionado com a operacionalidade do equipamento, como também com produção defeituosa e rendimento do equipamento abaixo do normal.

Uma das ferramentas imprescindíveis à Manutenção é o estudo da fiabilidade dos equipamentos, sendo esta muitas vezes designada por Análise de sobrevivência (*Survivor Analysis*). A fiabilidade é um valioso método de análise estatística das ocorrências, bem como dos respectivos tempos de acontecimentos, sendo que é um método de grande aplicação não só na Indústria como também nas Ciências Sociais.

2.2.1. Dados censurados

Em alguns casos verifica-se que existem equipamentos, sistemas ou instalações que iniciam o seu funcionamento antes do tempo de ensaio T , registando-se mesmo ocorrência de avarias. Neste caso, estes designam-se de dados censurados à esquerda. No entanto, também pode acontecer que o tempo de ensaio T termine antes da ocorrência do acontecimento (falha do equipamento ou instalação), neste caso denominam-se de dados censurados à direita. Na figura 2.3 é possível visualizar no sistema A um exemplo de dados censurados à esquerda e no sistema B, dados censurados à direita.

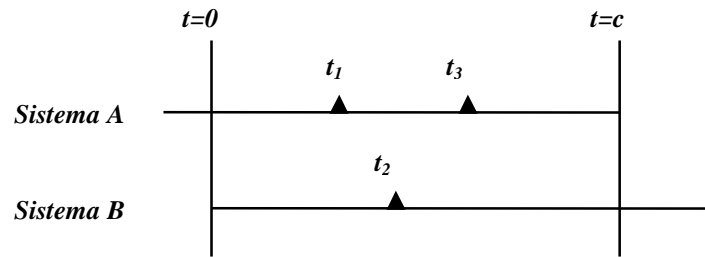


Figura 2.3: Dados censurados

2.2.2. Análise estatística de falhas

Na maior parte das áreas é usual utilizar-se a Distribuição Normal para modelar as variáveis aleatórias. No entanto, é preciso ter especial atenção quando se pretende modelar estas variáveis no contexto da fiabilidade. Pois, uma vez que os tempos desde a última falha são sempre positivos, a distribuição normal deverá ser aplicada com alguma precaução. Neste sentido, a distribuição mais utilizada na área da fiabilidade é a distribuição de Weibull.

Considere-se a variável aleatória T , que representa o tempo desde a última falha, tomando valores sempre positivos. A distribuição de probabilidade desta variável T , usualmente utilizada em aplicações de fiabilidade, pode ser especificada de função fiabilidade, função densidade de probabilidade e função de risco.

A função de fiabilidade também designada por função de sobrevivência de T , para valores contínuos e discretos, é dada por,

$$R(T) = P(T \leq t) = 1 - F(t) \quad 0 < t < \infty \quad (2.5)$$

Sendo então definida pela probabilidade de T ser maior ou igual, que um determinado valor t . De referir que todas as funções definidas tem apenas aplicações em $[0; \infty[$, pois apesar de a variável aleatória permitir a utilização de valores negativos, os mesmos não são aceitáveis em análises de sobrevivência.

Relativamente à função distribuição de T de uma população homogénea, esta é dada por $F(t)$ e definida como a probabilidade do tempo de falha T , ser inferior a t (expressão 2.6). Dado que esta é uma variável contínua no espaço amostral $0 < t < \infty$, então, $F(0) = 0$ e $\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$.

$$F(t) = P(T < t) = \int_0^t f(u) du \quad (2.6)$$

Uma função complementar desta, é a função de fiabilidade ou sobrevivência $R(t)$, que representa a probabilidade de sobrevivência até um dado tempo t e é definida por,

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T \geq t) = \int_t^{\infty} f(u) du \quad (2.7)$$

No caso de sistemas reparáveis, esta função $R(t)$ é uma função contínua e monótona decrescente, com $R(0) = 1$ e $R(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$.

Por sua vez, a função densidade de probabilidade é dada por,

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq X < t + \Delta t)}{\Delta t} = \frac{d}{dt} F(t) \quad (2.8)$$

Por último e não menos importante, a função de risco $h(t)$, que define a taxa de falha instantânea em t , dado que o sistema não falhou até esse tempo t . Sendo esta obtida a partir da seguinte expressão.

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.9)$$

Pelo que considerando, $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$ tem-se que,

$$h(t) = \frac{\frac{d(1-R(t))}{dt}}{R(t)} = -\frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} = -\frac{d}{dt} \ln R(t)$$

Sendo que para $R(0) = 1$, irá obter-se a função geral da fiabilidade, que é dada pela expressão 2.10.

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(u)du} = e^{-H(t)} \quad (2.10)$$

2.2.3. Métodos não Paramétricos de estimativa da fiabilidade

A mais valia da aplicação deste método no âmbito industrial, é permitir através deste estimar e comparar a função de fiabilidade dos diversos equipamentos, sem necessidade de conhecer a distribuição de probabilidade dos intervalos de tempo entre falhas. Daí estes métodos se designarem por estimadores não paramétricos.

Considere-se que $t_1 < t_2 < \dots < t_k$ representam os tempos desde a última falha, observados numa amostra de dimensão n , que pertencem a uma população de fiabilidade $R(t)$. Sendo que sempre que se estiver perante tempos censurados (t_{jl}) e estes forem conhecidos, a função de máxima verosimilhança de $R(t)$ é dada por,

$$L = \prod_{j=0}^k \left\{ \left[R(t_j) - R(t_j + \Delta t) \right]^{d_j} \prod_{l=1}^{m_j} R(t_{jl} + \Delta t) \right\} \quad (2.11)$$

Através desta expressão é possível estimar os parâmetros que permitem maximizar a probabilidade de encontrar uma amostra com características idênticas às que foram de facto observadas. Pelo que o valor da estimativa $\hat{R}(t)$ da máxima verosimilhança pode ser obtido pela maximização de L . Esta função de fiabilidade estimada é uma função discreta e descontinuada nos pontos onde se verifica a existência de falhas. Considerando que $t_{jl} \geq t_j$, através de $R(t_{jl} + \Delta t) = R(t_j + \Delta t)$ e de $R(t_{0l}) = 1$ consegue-se a maximização do factor $R(t_{jl} + \Delta t)$.

A probabilidade condicionada de falha em t_j é dada pela expressão 2.12, em que $R(t_j)$ representa a fiabilidade dos elementos que ainda não falharam num dado t_j .

$$h_j = \frac{f(t_j)}{R(t_j)} \quad (2.12)$$

Então, a estimativa da fiabilidade aquando na presença de funções de risco discretas, pode ser obtida a partir das expressões seguintes.

$$\hat{R}(t) = \prod_{l=1}^{j-1} (1 - \hat{h}_l) \quad (2.13)$$

$$\hat{R}(t_j + \Delta t) = \prod_{l=1}^j (1 - \hat{h}_l) \quad (2.14)$$

Pelo que substituindo estas duas últimas expressões na expressão 2.11 deste capítulo e sabendo que quando $j=0$ se tem $L=0$, após sucessivas simplificações, obtêm-se a seguinte expressão.

$$L = \prod_{j=1}^k h_j^{d_j} (1 - h_j)^{n_j - d_j} \quad (2.15)$$

O estimador de Kaplan-Meier, também conhecido por estimador do Produto Limite, é obtido através da seguinte expressão.

$$R(t) = \prod_{j|t_j > t} \left(\frac{n_j - d_j}{n_j} \right) \quad (2.16)$$

Sendo a estimativa de $R(t)$, a generalização directa da função fiabilidade amostral para dados censurados.

Marques (2009), refere que a aplicação deste método na estimação da função de fiabilidade, é uma mais valia na tomada de decisão no que respeita aos sistemas reparáveis. Pois, para além de ser um método de fácil aplicação, o seu *output* é de fácil interpretação.

2.3. Sistemas Reparáveis (SR)

Entende-se por sistema reparável um conjunto de elementos em que a ocorrência de uma avaria não significa o fim do ciclo de vida destes. Caracterizando-se pelo facto de poderem ser reparados sempre que ocorre uma avaria/falha, desempenhando posteriormente a sua tarefa com a máxima eficiência. Os sistemas reparáveis em termos de fiabilidade, são dos sistemas mais utilizados na Indústria.

Por outro lado, um sistema não reparável consiste num conjunto de elementos em que a ocorrência de uma avaria, significa o seu fim de vida, não sendo possível fazer nenhuma recuperação deste. Ainda que existam excepções, de um modo geral o conceito de sistemas reparáveis surge subjacente aos equipamentos e o de sistemas não reparáveis aos componentes e órgãos desses equipamentos. Não significando que todos os equipamentos e componentes tenham necessariamente de ser reparáveis e não reparáveis, respectivamente.

No caso dos sistemas reparáveis, torna-se relevante dar especial atenção à análise dos tempos entre falhas, pois a partir desta é possível verificar se se está perante um sistema com fiabilidade crescente ou decrescente. Esta análise permite também inferir sobre a evolução da fiabilidade do sistema e com base nesta planear um modo de actuação.

2.3.1. Tendência dos dados

No âmbito do estudo da fiabilidade torna-se não só importante analisar as falhas do ponto de vista quantitativo, como também analisar a sua evolução ao longo do tempo. Verificando-se que esta varia de acordo com a evolução da taxa de falhas dos equipamentos. Normalmente, a taxa de falhas dos equipamentos comporta-se de um modo típico de acordo com a denominada curva da banheira, que consta na figura 2.4. De referir que esta curva assume esta designação, por apresentar um aspecto relativamente semelhante ao de uma banheira.

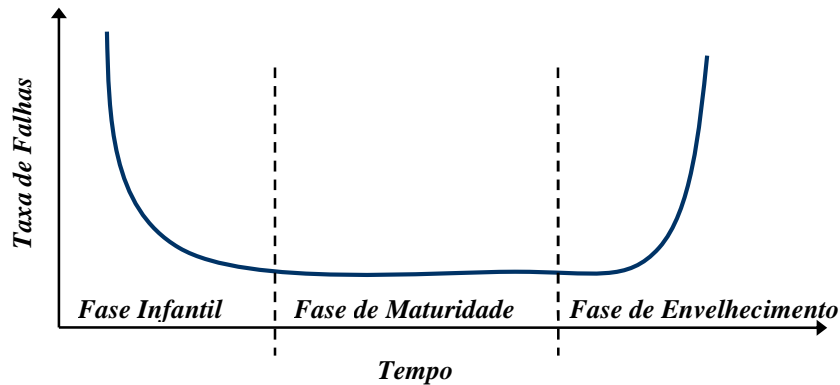


Figura 2.4: Curva da Banheira

De acordo com a figura 2.4, tem-se que:

- Fase Infantil: Esta fase caracteriza-se por uma taxa de falhas decrescente, também por ser a fase de teste dos equipamentos. Pelo que as avarias que ocorrem podem ser devido a má fabricação de componentes, falhas de inspecção após o fabrico, problemas de design, entre outros. Verificando-se que estas ocorrem com mais frequência no início de funcionamento do equipamento (fase infantil do equipamento), diminuindo à medida que vão sendo corrigidas e melhoradas. Portanto, nesta fase adopta-se normalmente uma estratégia de manutenção correctiva, dado a dificuldade em prever a ocorrência das falhas.
- Fase de Maturidade: A fase de maturidade, corresponde à estagnação da taxa de falhas, verificando-se neste período a ocorrência de uma taxa de falhas constante. Nesta fase as falhas ocorrem por motivos imprevisíveis, são falhas aleatórias que obedecem a um Processo de Poisson homogéneo. Aqui recomenda-se que seja aplicada uma estratégia de manutenção condicionada e uma boa gestão de práticas da manutenção.
- Fase de Envelhecimento: Corresponde à fase de desgaste do equipamento, período este em que as falhas se tornam inevitáveis. Dado que nesta fase o equipamento se encontra no fim do seu ciclo de vida, esta é caracterizada por uma taxa de falhas crescente, que tende a aumentar ao longo do tempo, verificando-se também um aumento dos custos resultantes das avarias.

É importante referir que este comportamento típico da curva da banheira se verifica na maioria dos sistemas. No entanto, podem e existem excepções no que respeita a esta curva, nos casos em que:

- i. São feitos testes rigorosos aos equipamentos após o fabrico, reduzindo de um modo muito significativo as falhas que ocorrem na fase infantil;
- ii. Os erros de fabrico e de projecto persistem ao longo da fase infantil, devido à ocorrência de sucessivas falhas do equipamento. Não permitindo a estabilização da taxa de falhas, levando em alguns casos à retirada do equipamento do mercado;
- iii. Quando é feita uma manutenção preventiva bem planeada aos equipamentos é possível aumentar o intervalo de tempo correspondente à fase de maturidade. O contrário também se sucede, quando não é feito um plano de manutenção ajustado às necessidades do equipamento, esta fase poderá ser mais curta do que o previsto;
- iv. Identificando precocemente o início da fase de envelhecimento, é possível retardar o fim do ciclo de vida deste, através da substituição de componentes críticos do equipamento.

A análise da evolução da taxa de falhas do sistema, tem como base o teste de Laplace, onde se assume como verdadeiro o pressuposto i.i.d (independentes e identicamente distribuídos). Sendo que as falhas ocorrem segundo um Processo de Poisson Homogéneo (*PPH*) e o tempo entre falhas segue uma Distribuição Exponencial Negativa. É importante referir que o modo de aplicação do teste de Laplace pode ainda variar consoante se trate de um teste limitado pelo número de avarias ou pelo tempo.

➤ **Teste de Laplace (Limitado pelo Tempo)**

H_0 : Taxa de falhas constante

H_1 : Taxa de falhas não constante

$$z_0 = \sqrt{12 \times n_f} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f \times T} - 0,5 \right] \quad (2.17)$$

Onde:

n_f : Número de falhas

T : Tempo de duração do ensaio

τ_i : Idade do sistema para a avaria de ordem i

Este teste de hipóteses significa que a hipótese nula H_0 , é rejeitada quando $|z_0|$ for superior ao valor crítico, para um determinado nível de significância. Pelo que nestes casos se pode afirmar que se está perante um processo de poisson não homogéneo. Aplicando-se a mesma análise quando o teste de Laplace for limitado pelo número de avarias.

➤ **Teste de Laplace (Limitado pelo número de avarias)**

H_0 : Taxa de falhas constante

H_1 : Taxa de falhas não constante

$$z_0 = \sqrt{12 \times (n_f - 1)} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f-1} \tau_i}{(n_f - 1) \times T} - 0,5 \right] \quad (2.18)$$

Sendo as variáveis e as respectivas conclusões iguais às retiradas anteriormente. Sempre que se justifique fazer-se novos ensaios e retirar-se novas conclusões o mesmo deverá ser feito. Isto tendo em consideração todos os cálculos efectuados através do teste de Laplace.

2.3.2. Processos de Poisson

Para se analisar o comportamento de determinado sistema reparável é necessário conhecer a ordem cronológica de ocorrência das falhas. Pelo que só conhecendo o comportamento aleatório, ou não, da ocorrência das falhas se pode saber de que tipo de Processo de Poisson se trata.

2.3.2.1. Processo de Poisson homogéneo (PPH)

Os processos de Poisson homogéneos são caracterizados por uma taxa de avarias constante, podendo representar-se por $\rho(t) = \lambda$.

Segundo Dias (2002), um PPH caracteriza-se por ser definido por uma sequência interminável de variáveis aleatórias positivas, independentes e identicamente distribuídas (i.i.d), sendo estas exponencialmente distribuídas. Um processo estocástico pontual $\{N(t), t \geq 0\}$ é um PPH se,

- i. $N(0) = 0$
- ii. $\{N(\tau), \tau \geq 0\}$ Incrementado de forma independente
- iii. O número de falhas em qualquer intervalo Δt seguir uma distribuição de Poisson, com um valor médio dado por $m = \lambda_0 \times \Delta t$.

Deste modo, a probabilidade de ocorrerem n_f falhas num intervalo de tempo Δt é dada por,

$$P\{N(\Delta t) = n_f\} = \frac{e^{-m} m^{n_f}}{n_f!} \quad (2.19)$$

Segundo Ascher e Feingold (1984), quando um componente que segue um processo de poisson homogéneo avaria, esse tempo para avariar é modelado por uma função densidade probabilidade exponencial negativa. Esta é uma função contínua, que representa o espaço amostral entre acontecimentos, com uma taxa de falhas de λ e representando-se através da seguinte expressão.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.20)$$

Deste modo, a função de probabilidade de avaria é dada por,

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt = \left[-e^{-\lambda t} \right]_0^t = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.21)$$

E a probabilidade de ocorrência de zero falhas obtida através da expressão seguinte,

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.22)$$

2.3.2.2. Processo de Poisson não Homogéneo (PPNH)

Os PPNH são facilmente identificáveis através do teste de Laplace, sendo que sempre que se rejeita a hipótese nula se está perante um processo de poisson não homogéneo.

Um PPNH caracteriza-se por uma taxa de falhas dependente do tempo, sendo que os intervalos de tempo entre falhas tendem a diminuir (taxa de falhas crescente) ou a aumentar (taxa de falhas decrescente). A taxa de avarias destes processos que são caracterizados por uma taxa de avarias dependente do tempo, é representada pela expressão 2.23 e a sua fiabilidade pela expressão 2.24.

$$\rho(t) = \frac{dN[t]}{dt} \quad (2.23)$$

Onde $N[t]$, corresponde ao número de avarias acumuladas entre 0 e t .

$$R(t) = e^{\int \rho(t) dt} \quad (2.24)$$

2.3.2.2.1. Modelo de Crow

Recorre-se ao Modelo de Crow aquando na presença de um PPNH, sendo que neste caso os intervalos de tempo entre falhas tendem a diminuir, apresentando uma taxa de falhas decrescente. Nestes casos, de acordo com o modelo desenvolvido por Crow, a taxa de falhas pode ser estimada através da expressão 2.25.

$$\rho(\tau) = a.b.\tau^{b-1} \quad a, b > 0; \tau \geq 0 \quad (2.25)$$

Onde as variáveis a e b correspondem aos tradicionais parâmetros do modelo de Crow, tendo-se apenas assumido uma designação diferente daquela que consta na literatura

consultada. Sendo que a variável a corresponde ao parâmetro λ^* e a variável b ao parâmetro β^* do modelo de Crow. Assumiu-se esta designação a e b de modo a evitar que o parâmetro λ^* seja confundido com a taxa de falhas λ , e o parâmetro β^* com o parâmetro de forma β da distribuição de Weibull. Deste modo, para não induzir a erro, neste trabalho irá considerar-se as variáveis a e b .

Estas são facilmente determinadas, recorrendo à função de máxima verosimilhança, sendo definidas por,

$$\hat{b} = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln\left(\frac{T_0}{\tau_i}\right)} \quad (2.26)$$

Sendo que T_0 representa o tempo total de duração do ensaio, τ_i o tempo de vida no momento da falha n_i do sistema.

$$\hat{a} = \frac{n_f}{T_0^b} \quad (2.27)$$

Dado que os tempos entre falhas não são constantes, então não se pode aplicar o cálculo do *MTBF* a estes sistemas. No entanto, nestes casos é estimado o tempo cumulativo entre as falhas (*CMTBF*). Este é determinado através da expressão 2.28, tendo como base a taxa de falhas estimada a partir de 2.25.

$$CMTBF = \frac{1}{\rho(\tau)} \quad (2.28)$$

2.3.2.2.2. Previsão de ocorrência de falhas

Para se fazer uma previsão do número de falhas sobre um Processo de Poisson não Homogéneo com uma relação de ocorrência de falha de $\rho(\tau)$ para $0 \leq \tau \leq \infty$, recorre-se à aproximação de Ross, onde são simulados os sucessivos tempos de reparação. Se T_1, T_2, \dots representarem a idade do sistema no momento da falha e sendo estas variáveis dependentes, é necessário encontrar a distribuição condicional de T_i para um dado

T_1, \dots, T_{i-1} . Ross (1983) diz ainda que se a reparação ocorrer num dado instante τ , independentemente do que ocorrer antes de τ , o tempo t até à ocorrência do próximo acontecimento em $\tau + t$ é dado por uma distribuição de probabilidade F_τ definida por,

$$F_\tau = 1 - \exp \left[- \int_0^t \rho(\tau + t) dt \right] \quad (2.29)$$

Sendo que segundo Tobias e Trindade (1998), um *PPNH* apresenta uma relação de ocorrência de falhas dada pela equação não paramétrica abaixo, sendo os coeficientes determinados através da máxima verosimilhança.

$$\rho(\tau + t) = a \cdot b(\tau + t)^{b-1} \quad (2.30)$$

Se se substituir a equação anterior na equação de F_τ e resolver o integral, obtêm-se a seguinte equação.

$$F_\tau(t) = 1 - \exp \left\{ - a \cdot [(\tau + t)^b - \tau^b] \right\} \quad (2.31)$$

Invertendo esta distribuição e resolvendo-a em ordem a t , tem-se,

$$t = \left[\tau^b - \frac{1}{a} \ln(1 - F_\tau) \right]^{\frac{1}{b}} - \tau \quad (2.32)$$

Fazendo alguma manipulação matemática da equação anterior, chega-se à equação que permite simular os valores do tempo de vida, sendo esta dada por,

$$T_i = \left[T_{i-1}^b - \frac{1}{a} \cdot \ln(U_i) \right]^{\frac{1}{b}} \quad (2.33)$$

Onde T_i corresponde à idade do sistema no momento de falha i e U_i aos valores aleatórios gerados.

Deste modo, é possível determinar os tempos entre falhas, dos vários equipamentos tendo em consideração a sua evolução histórica da fiabilidade. Do ponto de vista da fiabilidade, esta expressão tem grande importância, pois com base nesta são determinados

todos os tempos entre falhas. Isto é, desde o tempo de fim da última avaria e o tempo de início da avaria imediatamente a seguir.

2.4. Modelo de Riscos Proporcionais (PHM)

O Modelo de Riscos Proporcionais do inglês conhecido por *Proportional Hazards Modeling (PHM)*, é uma ferramenta muito útil, na medida em que permite avaliar de forma quantitativa, quais os elementos do sistema com maior risco de falha. A sua utilização torna-se vantajosa por ser um método de fácil aplicação e implementação. Para além do que se possa pensar, é um método com aplicação nas mais variadas áreas, desde a manutenção industrial, à medicina, como também às ciências sociais.

Sempre que o sistema em análise esteja sob influência de outros factores (covariáveis) e estes influenciem o comportamento do sistema, torna-se necessário utilizar uma análise de regressão que forneça uma função de distribuição de base para o sistema. Deste modo, torna possível uma avaliação das variáveis explicativas que estão associadas aos tempos entre avarias, isto aplicando o Modelo de Riscos Proporcionais (Dias, 2002).

Refira-se que podem existir modelos de riscos proporcionais paramétricos e não paramétricos, consoante se assuma ou não à partida uma distribuição para a função de risco. Segundo Pereira (1996), o modelo dos riscos proporcionais como técnica não paramétrica, tem a vantagem de poder modelar o comportamento do sistema, do ponto de vista da fiabilidade sem ter de se recorrer a qualquer distribuição pré-definida. No entanto, a complexidade resultante do facto de não se considerar uma técnica paramétrica, é uma desvantagem relevante. Pelo que apenas se deveria aplicar este método nestas circunstâncias desde que os proveitos daí resultantes fossem consideráveis. Como no caso em que se tratem de equipamentos de elevado custo, ou pela diminuição das perdas de produção, ou da qualidade dos produtos.

No entanto, o mesmo autor refere que este modelo apresenta algumas desvantagens, tais como:

- Dificuldade de selecção e identificação das covariáveis;
- Requer um *software* sofisticado para análise dos dados;

- Selecção de um conjunto de covariáveis que verifiquem o pressuposto da independência dos dados.

De referir que para se poder aplicar este modelo a uma determinada situação é necessário que se verifique o pressuposto da proporcionalidade entre os diferentes valores das covariáveis.

O *PHM*, abordagem não paramétrica surge em 1972, tendo sido introduzido por Cox. Segundo Cox (1972), a tradicional função de risco é definida pela seguinte expressão 2.34.

$$h(t; z) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t | T \geq t, z)}{\Delta t} \quad (2.34)$$

No entanto, esta também pode ser genericamente representada pela expressão 2.35.

$$h(t; z) = h_0(t) \cdot g(z; \beta) \quad (2.35)$$

Pelo que $h_0(t)$, corresponde à função de risco base, β o vector coluna dos k parâmetros de regressão e z o vector linha das k covariáveis utilizadas e medidas. O vector β representa em termos práticos, o efeito que cada covariável tem na função de risco, podendo ser estimado através da maximização da função de máxima verosimilhança.

Nos casos em que $z = 0$, a função de risco $h(t; z)$ será igual à função de risco base $h_0(t)$.

O modelo de riscos proporcionais considera ainda que covariáveis fixas diferentes devem ter uma função de risco proporcional. Sendo que para diferentes componentes z_1 e z_2 , a relação $h(t; z_1)/h(t; z_2)$ não deverá variar com o tempo, sendo o *PHM* dado por,

$$h(t; z) = h_0(t) \cdot e^{(z; \beta)} \quad (2.36)$$

Em que $h_0(t)$ representa uma função de risco arbitrária.

Segundo Cox (1972), os coeficientes $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)$ desta expressão podem ser determinados com base na função da máxima verosimilhança parcial, a qual é dada por,

$$L(\boldsymbol{\beta}) = \prod_{i=1}^k \frac{e^{z_i \cdot \boldsymbol{\beta}}}{\sum_{l \in (t_i)} e^{z_l \cdot \boldsymbol{\beta}}} \quad (2.37)$$

Esta verosimilhança representa a razão entre a probabilidade de ocorrência de uma falha num dado tempo após a falha anterior e a probabilidade de falha no mesmo momento.

Embora os vários dados de tempo das ocorrências de falha, na maioria das aplicações práticas, sejam provenientes de uma variável contínua, o registo desses tempos envolve, frequentemente, alguns erros de medição, provocados por simplificação do cálculo do momento exacto da falha, resultando valores iguais para diferentes ocorrências (*empates*) (Dias, 2002).

Sendo que em situações em que o histórico de dados seja muito extenso, a determinação dos coeficientes através desta expressão torna-se muito complexo. Deste modo, a estimativa da máxima verosimilhança de β , segundo Kalbfleisch e Prentice (1980), também pode ser obtida através das seguintes expressões.

$$U_j(\boldsymbol{\beta}) = \frac{\partial \ln[L(\boldsymbol{\beta})]}{\partial \beta_j} \quad (2.38)$$

$$I_{hj}(\boldsymbol{\beta}) = -\frac{\partial^2 \ln[L(\boldsymbol{\beta})]}{\partial \beta_h \partial \beta_j} \quad (2.39)$$

No entanto, em alguns casos a aplicação destas expressões torna-se muito complexa, sendo que nestes casos se recorre ao método iterativo de Newton-Raphson. Este método consiste na determinação do valor de $\hat{\beta}$ que maximiza a expressão 2.37 e que maximiza as expressões 2.38 e 2.39. Dado um valor inicial β_0 e considerando as expressões 2.38 e 2.39, o valor de $U(\hat{\boldsymbol{\beta}})$ pode ser representado por,

$$U(\hat{\beta}) = U(\beta_0) - I(\beta^*) \cdot (\hat{\beta} - \beta_0) \quad (2.40)$$

Sendo que β^* representa um valor dos coeficientes entre β_0 e $\hat{\beta}$. Para valores de β_0 na vizinhança de $\hat{\beta}$, $I(\beta^*)$ é aproximadamente igual a $I(\beta_0)$. Deste modo, a maximização obtém-se para $U(\hat{\beta}) = 0$, o que resolvendo tem-se que,

$$\hat{\beta} = \beta_0 + I(\beta_0)^{-1} \cdot U(\beta_0) \quad (2.41)$$

Em que I representa a matriz da segunda derivada de $\ln L(\beta)$ e U a matriz da primeira derivada.

Esta expressão é aplicada repetidamente para determinar os coeficientes β , até que $U(\hat{\beta}) = 0$.

Pelo que assumindo que os tempos são independentes, segundo o modelo de Cox, a função de risco é dada por:

$$h_i(t | z_i) = h_0(t) \cdot e^{\beta \cdot z_i} \quad (2.42)$$

Onde,

h_0 é a função de risco base

β o vector da coluna dos coeficientes de regressão, sendo estimado pelo método de máxima verosimilhança parcial

t intervalo de tempo entre avarias (variável dependente)

De referir que a expressão 2.42 é conhecida por ser um modelo semi-paramétrico, pois assume que as covariáveis actuam de forma multiplicativa na função risco.

2.4.1. Comparação de funções fiabilidade

Muitas vezes torna-se interessante estudar não só a função fiabilidade individualmente, mas compará-las caso estas façam parte do mesmo sistema, permitindo deste modo verificar se determinados componentes correspondem ou não, à mesma função fiabilidade.

Os testes estatísticos mais utilizados nesta área, são os testes de Wilcoxon e de Savage. Estes têm resultados tanto mais eficazes, quando as funções de fiabilidade que estão a ser comparadas são aproximadamente constantes.

Considerando que se pretende testar a igualdade de funções de fiabilidade dadas por $R_1(t), \dots, R_r(t)$, de amostras de r populações e que $t_1 > t_2 > \dots > t_k$ representam os tempos ordenados desde a última falha do conjunto das r populações. Então, considere-se os vectores t , n e d , são dados pelas seguintes matrizes.

$$t = \begin{bmatrix} t_1 \\ \vdots \\ t_k \end{bmatrix} \quad n = \begin{bmatrix} n_{11} & \dots & n_{1r} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ n_{1k} & \dots & n_{kr} \end{bmatrix} \quad d = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1r} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{1k} & \dots & d_{kr} \end{bmatrix}$$

A matriz t representa os tempos, a matriz n , os elementos em risco e a matriz d representa os elementos que falham.

Se a média e a variância de d_{ij} , forem dadas respectivamente por,

$$\bar{d}_{ij} = n_{ij} \frac{d_j}{n_j} \quad \text{e} \quad (V_j)_{ii} = n_{ij}(n_j - n_{ij})d_j(n_j - d_j)n_j^{-2}(n_j - 1)^{-1}$$

Então a estatística do teste referente ao vector do número observado, menos o número esperado de falhas de cada população que tem média zero e variância V_j será dada por,

$$v_j = \begin{bmatrix} d_{1j} - \bar{d}_{1j} \\ \vdots \\ d_{(r-1)j} - \bar{d}_{(r-1)j} \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

Sendo o valor da sua soma, ao longo dos tempos de falha representado pela seguinte matriz,

$$v = \sum_{j=1}^k \begin{bmatrix} d_{1j} - \bar{d}_{1j} \\ \vdots \\ d_{(r-1)j} - \bar{d}_{(r-1)j} \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Deste modo, se as k tabelas de contingência forem independentes, então, a variância da estatística v será dada por $V = V_1 + \dots + V_k$. Sendo que o teste aproximado de igualdade das

$r - 1$ curvas de fiabilidade que estão a ser comparadas, é baseado na Distribuição do Qui-quadrado. De referir que o número de graus de liberdade será $r - 1$ e não somente r , para que os elementos de v não somem zero. Assim, o valor da estatística do teste para comparação da curva da fiabilidade de vários equipamentos será dada por,

$$\chi_0^2 = v^T V^{-1} v \quad (2.45)$$

Pelo que a hipótese nula do teste consiste na igualdade das fiabilidade das curvas, sendo esta rejeitada para um nível de significância α , sempre que $\chi_0^2 > \chi_{\alpha; (r-1)}^2$.

No entanto, se apenas se pretender comparar a fiabilidade relativa a dois equipamentos, então a estatística do teste já será dada pela expressão 2.46.

$$U = \sum_{j=1}^k w_j \left(d_{2j} - \frac{n_{2j} d_j}{n_j} \right) \quad (2.46)$$

Sendo que o teste de Log-rank se define pela expressão anterior quando $w_j = 1$. Este teste permite comparar a distribuição de ocorrência dos acontecimentos observados em cada conjunto, com a distribuição que seria esperada, se a incidência fosse igual em todos os conjuntos.

2.4.2. Estimativa da função fiabilidade

Aquando da aplicação do modelo de riscos proporcionais e após a identificação das covariáveis significativas (\tilde{z}), torna-se necessário estimar a função fiabilidade para essas variáveis. Sendo esta obtida a partir da função de fiabilidade base, tal como consta na expressão seguinte.

$$\hat{R}(t; \tilde{z}) = \hat{R}_0(t)^{\exp(\tilde{z}; \hat{\beta})} \quad (2.47)$$

Sendo a função estimada da fiabilidade inicial $\hat{R}_0(t)$ dada por,

$$\hat{R}_0(t) = \prod_{i: t_i < t} \left(1 - \frac{\exp(z_i \cdot \hat{\beta})}{\sum_{l \in (t_i)} \exp(z_l \cdot \hat{\beta})} \right) \quad (2.48)$$

Pelo que se verifica que quando o valor das covariáveis for $z = 0$, então esta expressão reduz-se à expressão da estimativa do Kaplan-Meier. A expressão 2.48 apenas se utiliza quando não está perante uma situação de empates, pois, quando tal se verifica, esta não é aplicável sendo necessário recorrer a um método iterativo.

2.4.3. Análise de resíduos

Segundo Dias (2002), a utilização destes modelos impõe algumas restrições quanto ao tipo de distribuição aplicada aos dados. É neste sentido que muitos autores sugerem que na ausência de informação, após o ajuste do modelo, seja feito o tratamento dos resíduos.

Dos vários tipos de resíduos existentes para validação do modelo, destacam-se os resíduos de Cox-Snell, definidos por,

$$\hat{e}_i = -\ln \hat{R}(t_i | z_i) \quad (2.49)$$

Sendo que, se o modelo ajustado for correcto, os resíduos esperados (\hat{e}_i) deverão seguir aproximadamente uma distribuição exponencial, com um parâmetro de escala unitário ($\lambda = 1$). Segundo Kaplan e Meier (1958), a representação gráfica dos resíduos esperados $-\ln[R(\hat{e}_i)]$ obtida pelo método de Kaplan-Meier e dos resíduos observados \hat{e}_i , deverá permitir ajustar uma recta na origem com uma inclinação de 45°.

2.5. Custo do Ciclo de Vida

Segundo Keoleain *et al.* (1994), é em 1963 que surge o conceito de análise do ciclo de vida aplicada a produtos industriais com pequeno tempo de vida, numa publicação de Harold Smith em “*World Energy Conference*”. Só após alguns anos da utilização e desenvolvimento do conceito do custo do ciclo de vida, é que surge o conceito da análise de custos do ciclo de vida dos equipamentos e produtos.

Em Dhillon (1989) consta que é por volta dos anos 70, que surge o conceito do Custo do Ciclo de Vida (CCV), do Inglês, *Life Cycle Cost (LCC)*. Este conceito surge pela primeira vez num relatório intitulado de “Custo do Ciclo de Vida na aquisição de equipamentos”, estudo este que foi realizado pelo Instituto de Gestão e Logística de Washington para o secretário de Defesa. Na sequência do estudo que consta neste relatório surge uma directiva em 1971 elaborada pelo Departamento de Defesa, intitulada de “Aquisição de sistemas de defesa de grande dimensão”. Esta estabelecia a exigência da aplicação desta metodologia na aquisição de grandes sistemas de defesa.

Em Kawauchi e Rausand (1999), consta que desde o início dos anos 70 até aos anos 80, esta metodologia era usada apenas na área militar. Só após os anos 80, começou a ser aplicada pela indústria aeronáutica, em centrais eléctricas, em indústrias químicas e petrolíferas e em sistemas de transporte ferroviário. Desde então, este conceito tem vindo a surgir nas mais variadas literaturas, como metodologia de apoio à decisão.

Segundo o autor, nos últimos anos tem-se verificado uma tendência crescente para a utilização deste método, sendo que tal tem origem em factores como:

- Aumento da Inflação;
- Limitações no orçamento das empresas;
- Maior sensibilidade para a relação custo-eficácia;
- Aumento do custo dos produtos;
- Aumento dos custos de Manutenção.

Stewart (1991) refere que nos próximos cem anos a análise de investimentos e projectos vai ser bem diferente para os analistas de custos e analistas económicos. Pois, considera que as decisões vão passar a ser tomadas tendo como base o custo total do ciclo de vida, invés de se basearem apenas no custo de aquisição.

Em Cogan (1999), o custo do ciclo de vida é citado como sendo uma metodologia desenvolvida para a tomada de decisão em aquisições de capital e em projectos, tendo como base uma análise económica centrada na estimativa de todos os custos do ciclo de vida do equipamento/produto. Pelo que após a aplicação desta metodologia deverá ser possível optar pela alternativa mais rentável. Isto é, a que conduz à maior qualidade do produto, ao melhor desempenho do equipamento, isto a um custo tanto mais baixo possível. Segundo Cogan (1999), embora esta metodologia seja utilizada por algumas empresas em

decisões de maior investimento, no entanto são poucas as que a utilizam em pequenas decisões. O autor refere ainda que tendo em consideração o custo total do ciclo de vida, identificando os custos directos e indirectos, as empresas tem o poder de implementar projectos e tomar decisões de operação que podem resultar em grandes economias de custos a longo prazo. No entanto, refere também que a maior dificuldade de aplicação desta metodologia consiste na identificação de todos os custos envolvidos, bem como na previsão de parâmetros futuros, como por exemplo, a energia que será consumida, a taxa de actualização, entre outros.

O principal objectivo da análise do *CCV* consiste na quantificação do custo total de um produto, equipamento ou sistema, ao longo de todo o seu ciclo de vida, sendo este composto por custos de:

- Aquisição de equipamentos;
- Instalação;
- Custos energéticos;
- Operação;
- Manutenção;
- Paragens;
- Desmontagem e abate do equipamento.

Este é um método que permite minimizar desperdícios e maximizar os rendimentos obtidos num dado sistema, sendo normalmente aplicado para:

- Comparar e avaliar várias alternativas relativas a um dado equipamento ou sistema;
- Avaliação da viabilidade económica de produtos ou projectos;
- Identificação dos principais factores de custo;
- Avaliação e comparação de diferentes estratégias relativas à manutenção, operação e inspecção de um dado produto;
- Desenvolvimento de planos financeiros a longo prazo.

É facilmente entendido que o custo total de um produto não engloba somente os seus custos de aquisição, mas também custos de operação, manutenção, logísticos, entre outros.

2.5.1. Metodologia de aplicação do *CCV*

Para que os resultados obtidos através da aplicação desta metodologia sejam fiáveis, é necessário que sejam conhecidas todas as etapas envolvidas, bem como as características e propriedades do produto ou equipamento.

A metodologia a aplicar para a estimativa do custo do ciclo de vida, varia consoante a literatura consultada. Sendo que segundo Dhillon (1989), a estimativa do custo do ciclo de vida compreende as seguintes etapas:

- i. Desenvolver uma estrutura representativa dos custos;
- ii. Recolha de dados como suporte a essa estrutura;
- iii. Desenvolver a estimativa dos custos que constituem o *CCV*;
- iv. Formular o modelo completo do *CCV*;
- v. Validar o modelo formulado.

No esquema seguinte é possível visualizar a metodologia subjacente à aplicação do *CCV*, bem como as respectivas etapas necessárias para o cálculo do *CCV*.

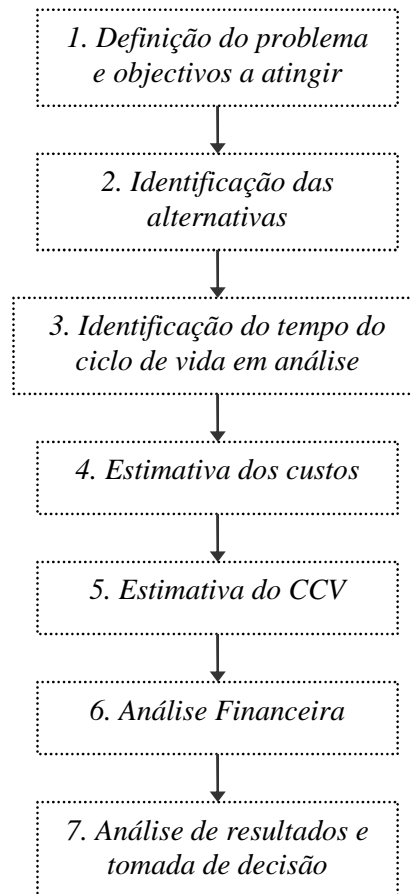


Figura 2.5: Etapas do CCV

2.5.1.1. Definição do problema e objectivos a atingir

A primeira etapa na análise do custo do ciclo de vida, é a definição do problema, isto é, é necessário entender o que é preciso ser analisado e qual a decisão que é preciso ser tomada, para estruturar o problema de acordo com a análise mais correcta, bem como o melhor método de análise económica. Segundo Fuller e Petersen (1996), após a identificação do problema, é preciso estabelecer qual o objectivo a atingir, isto é, que tipo de decisão se pretende tomar. Sendo que esta pode ser do tipo:

- Aceitar ou rejeitar um dado projecto;
- Seleccionar as hipóteses/alternativas de um projecto que permite a máxima eficiência;
- Optar por um de dois projectos;
- Seleccionar a combinação óptima de várias alternativas para um dado projecto.

2.5.1.2. Identificação das alternativas

Após a identificação do problema e dos objectivos a atingir, é importante a identificação das variáveis a analisar para atingir o objectivo, de modo a auxiliar na tomada de decisão. No entanto, aquando da identificação das variáveis dever-se-á ter em conta as restrições que estas poderão impor no futuro.

2.5.1.3. Identificação do tempo do ciclo de vida em análise

O tempo de análise do *CCV*, é o tempo no qual os custos e os benefícios de determinado investimento são interessantes analisar para a tomada de decisão. No entanto segundo Fuller e Peterson (1996), antes de se estabelecer um período de análise do *CCV* é necessário definir uma data base de início de estudo do projecto e a data de implementação do mesmo.

Para estes autores, a data base de início de estudo é a data a partir da qual todos os custos são incluídos na análise do *CCV*, a qual é frequentemente o primeiro dia do início do tempo do ciclo de vida. Esta é muito relevante na estimativa dos custos futuros, pois inclui todos os custos anteriores à implementação do projecto, como custos de investigação, desenvolvimento, investimento no projecto, entre outros. Enquanto que a data de implementação do projecto, é a data na qual o projecto é implementado. Sendo que é a partir desta que os diversos custos de operação, manutenção são incluídos no *CCV*. Consoante a situação que se esteja a analisar, assim estas duas datas podem, ou não, coincidir uma com a outra.

2.5.1.4. Custos do ciclo de vida de um equipamento

Uma das etapas fundamentais da aplicação deste método, é a identificação de todas as parcelas que constituem o custo total do ciclo de vida de determinado equipamento ou instalação. No entanto, uma das limitações da aplicação do mesmo é o facto de ser extremamente dependente da informação disponível. O que em alguns casos pode comprometer a fiabilidade do mesmo, dado que nem sempre se tem dados determinísticos dos custos sendo portanto necessário trabalhar com dados estocásticos. No âmbito deste

trabalho, apenas são mencionados os custos que poderão estar envolvidos na estimativa do CCV de um equipamento de uma unidade industrial.

Segundo Fuller e Peterson (1996), são diversos os custos que se encontram associados aos custos de aquisição, operação, manutenção, não operação e desmantelamento. Sendo que na estimativa do CCV estes não precisam ser todos incluídos, mas sim apenas aqueles que forem relevantes para a decisão e significantes para a análise do investimento.

Os custos envolvidos na estimativa do CCV podem ser classificados segundo diversas categorias, dependendo da metodologia e da abordagem que se pretenda efectuar, assim a distinção entre custos iniciais e custos futuros, custos totais e custos totais anuais. É importante referir a diferença entre custos iniciais e custos futuros, os quais se encontram representados no esquema da figura 2.6.

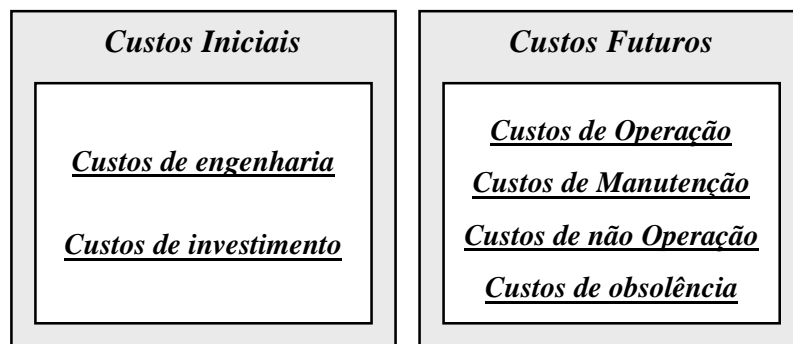


Figura 2.6: Custos iniciais versus Custos futuros

Pois, segundo Fuller e Peterson (1996), os custos iniciais dizem respeito somente aos custos de investigação e aos custos de investimento e os custos futuros aos custos energéticos, de operação, não operação e de manutenção.

A estimativa dos Custos de investigação e investimento são sem dúvida alguma os mais fáceis de estimar de todo o projecto, pois para além destes serem obtidos no tempo presente, através do contacto com fabricantes e fornecedores estes custos são facilmente identificáveis. O mesmo já não acontece com os custos futuros, pois a estes está subjacente uma forte componente estocástica. Isto porque a estimativa destes custos depende em grande parte da informação disponível, bem como da facilidade em se estimar valores futuros. Uma das grandes dificuldades inerentes à estimativa destes custos é o facto de grande parte destes não serem constantes ao longo dos anos.

2.5.1.4.1. Custos de investimento

Os custos iniciais, ou custos de investimento são custos que são contraídos antes da instalação do equipamento, sendo estes:

- Custos de aquisição;
- Custos de construção;
- Custos de transporte;
- Custos de instalação.

2.5.1.4.2. Custos de Operação

Os custos de operação são constituídos por diversos custos, como por exemplo os custos de mão-de-obra relacionados com a operação do sistema. No entanto, são os custos energéticos aqueles que maior impacte tem nos custos de operação. A estimativa dos custos energéticos requer um conhecimento prévio, ou possibilidade de estimar o custo de consumo energético por kW/h e também de prever a energia que será consumida durante o período em análise.

2.5.1.4.3. Custos de Manutenção

Segundo Ferreira (1998), os custos de manutenção podem ser classificados como custos directos e indirectos. De acordo com o autor estes podem ser subdivididos nos custos que se encontram representados no quadro 2.2.

Quadro 2.2: Custos da Manutenção

<i>CUSTOS DA MANUTENÇÃO</i>	
<i>Custos Directos</i>	<i>Custos Indirectos</i>
<ul style="list-style-type: none"> -Mão-de-obra; -Peças substituídas e consumíveis; -Trabalhos subcontratados; -Custos de posse de stocks; -Custos de posse de ferramentas e máquinas; -Contratos da manutenção; -Custos globais da manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> -Custos de inactividade; -Custos de Inoperacionalidade; -Custos de desclassificação; -Despesas induzidas.

Um dos maiores problemas na estimativa do custo do ciclo de vida é a precisão da estimativa dos custos de manutenção (Dhillon, 1989). Segundo este autor, existem vários custos que constituem os custos de manutenção, sendo os que tem maior impacto:

- Custos de instalação;
- Custos de ferramentas especiais;
- Custo de peças de reparação;
- Custo da mão-de-obra utilizada para a manutenção;
- Custo de equipamentos usados na manutenção

Segundo Dias *et al.* (1997), os custos da manutenção correctiva incluem todos os custos resultantes de despesas ou perdas de receita, em qualquer área da empresa, como consequência de falta de manutenção, manutenção insuficiente ou inadequada. De todos os custos da manutenção, os custos da manutenção correctiva são os mais difíceis de quantificar. No entanto, é importante que estes sejam analisados de forma o mais precisa possível de modo a permitir estimar um valor o mais próximo possível da realidade. Dos custos de manutenção correctiva destacam-se:

- Custos relativos a perda de produção;
- Custos com encargos adicionais com o pessoal;
- Custos de equipamentos adquiridos adicionalmente para garantir o fluxo de produção;
- Custos de reparação.

Os custos de manutenção preventiva são relativamente fáceis de determinar, estes incluem as despesas com o pessoal, materiais e subcontratos, peças de reserva, gastos industriais e administrativos e imputações de encargos da estrutura da empresa associados à operação específica de manutenção preventiva (Dias *et al.*, 1997).

2.5.1.4.4. Custos de não produção

Os custos de perdas de produção, isto é, os custos de não produção constituem uma parcela muito significativa no valor final do *CCV*. Estes correspondem aos custos que resultam da não produção como resultado da paragem dos equipamentos.

2.5.1.5. Estimativa dos custos do ciclo de vida de um equipamento

De acordo com a vasta literatura consultada na área, constata-se que não existe um modelo *standart* de estimativa do custo do ciclo de vida. Pois este varia de autor para autor, consoante o objecto de estudo, a informação disponível e os objectivos a atingir. A aplicação do *CCV* pode ser feita de forma geral, considerando apenas o somatório dos custos, ou por outro lado considerando a actualização dos mesmos para um valor presente.

Em Dhillon (1989), constam alguns modelos de cálculo do *CCV*, destacando-se o modelo estimado de acordo com a seguinte expressão.

$$L_{CC} = FLC + OPC + ITLC \quad (2.50)$$

Onde,

L_{CC} , corresponde ao custo do ciclo de vida

FLC , custo de falha

OPC , custo de operação

$ITLC$, ao custo de aquisição

Esta é a expressão através da qual se obtêm o somatório dos custos, sendo que o valor obtido posteriormente terá de ser actualizado. O autor considera ainda que, os custos de falha correspondem aos custos de reparação e que podem ser estimados de acordo com a expressão 2.51.

$$FLC = \frac{CAF \times SLT}{MTBF} \quad (2.51)$$

Pelo que *CAF* designa o custo médio de falha, *SLT* o tempo de vida do sistema e o *MTBF*, tal como visto anteriormente, o tempo médio entre falhas. Referindo também que o custo de aquisição representa os custos de formação, construção e equipamento.

Segundo Fuller e Petersen (1996), o *CCV* consiste na actualização do somatório dos custos para um valor presente, podendo este ser determinado através da expressão 2.52. Onde C_t corresponde ao somatório dos custos, j à taxa de actualização e p os períodos em análise.

$$LCC = \sum_{j=0}^N \frac{C_t}{(1+j)^p} \quad (2.52)$$

De referir que, em termos práticos ambos os autores designam do mesmo modo o *CCV* diferindo apenas na designação que lhe atribuem. Pelo que ambas as formas são válidas, desde que convenientemente explicadas.

Após identificação e estimativa dos vários custos que constituem o *CCV*, é calculado o somatório desses mesmos custos para cada hipótese e para cada ano do período de tempo em análise. Posteriormente, o valor desse somatório é actualizado para um valor presente, através do Valor Actual Líquido (*VAL*).

Na comparação de alternativas de investimento, a selecção da taxa de actualização a utilizar assume uma importância significativa. Pelo que esta deve reflectir a taxa de rentabilidade oferecida por alternativas de investimento comparáveis, ou seja, o custo de oportunidade do capital.

2.5.1.6. Análise Financeira

Esta análise financeira permite uma avaliação de investimentos, tendo como base uma análise multicritério de acordo com os seguintes índices financeiros:

- Valor Actual Líquido (*VAL*);
- Taxa Interna de Rentabilidade (*TIR*);
- Retorno do Investimento (*RI*);
- Período de Retorno do Investimento (*PRI*).

Sendo que esta análise financeira pode ser avaliada de acordo com o esquema que consta na figura 2.7. Pelo que se o *VAL* for superior a zero, a *TIR* superior à taxa de actualização e o retorno do investimento superior a um, se deverá aceitar o projecto dado que este é financeiramente viável. Se por outro lado o *VAL* for inferior a zero, a *TIR* inferior à taxa de actualização e o *RI* inferior a um, então o projecto não deverá ser aceite.

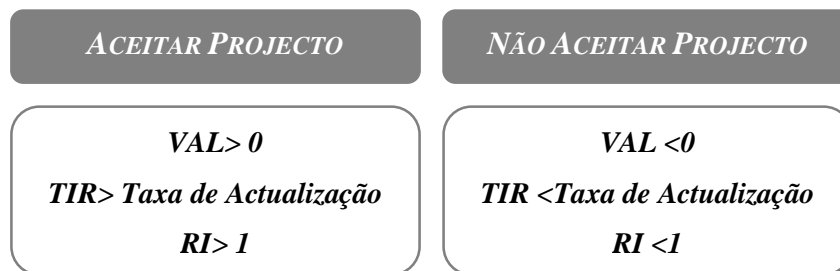


Figura 2.7: Avaliação Financeira

Dados estes índices de avaliação financeira, torna-se necessário conhecê-los com maior detalhe. No entanto, no âmbito de aplicação da metodologia, dado que a decisão é tomada somente com base no custo total do ciclo de vida, então, apenas se irá recorrer ao indicador *VAL*.

2.5.1.6.1. Estimativa da Taxa de Actualização

Para conhecer estes índices financeiros de forma quantitativa é necessário que se conheça a taxa de actualização, sendo esta utilizada para actualizar *cash-flows* para um

determinado momento presente. Segundo fonte do IAPMEI, esta pode ser estimada de acordo com a expressão 2.53.

$$j = [(1+T_1).(1+T_2).(1+T_3)]-1 \quad (2.53)$$

Onde,

j , corresponde à taxa de actualização;

T_1 , Taxa de Remuneração Desejada para os capitais próprios;

T_2 , Taxa de Risco, que corresponde à taxa dependente da evolução económica, financeira, global e sectorial do projecto, bem como ao montante total envolvido no projecto;

T_3 , Taxa de inflação.

Aquando da análise financeira é necessário ter algum cuidado relativamente à designação dos vários parâmetros, pois acontece que muitas vezes a nomenclatura destes varia de autor para autor.

2.5.1.6.2. Estimativa do VAL

O Valor Actual Líquido (*VAL*) é um critério financiado destinado a avaliar investimentos através da comparação entre os *cash flows* gerados por um projecto e o capital investido (Zunido e Magalhães, 2006). Dada a sua fácil aplicação, é dos indicadores financeiros mais utilizados em estudos de análise de viabilidade de projectos. Segundo este autor, existem duas formas para o cálculo do *VAL*. Quando existe apenas um único investimento no momento inicial, este é determinado com base na seguinte expressão.

$$VAL = \sum_{p=1}^n \frac{CF_p}{(1+j)^p} - I \quad (2.54)$$

Onde, CF_p , é o *Cash-flow* de exploração do período p , o I , a despesa de investimento inicial e j a taxa de actualização. Quando existem diversos investimentos escalonados no tempo, o *VAL* é determinado através da expressão 2.55.

$$VAL = \sum_{p=1}^n \frac{CFp}{(1+j)^p} - \sum_{p=0}^n \frac{Ip}{(1+j)^p} \quad (2.55)$$

Sendo Ip o valor da despesa de investimento no período p . Ainda que na maioria das vezes o VAL se aplique na actualização dos *cash-flow* dos vários períodos, para um momento presente, tal actualização também pode ser aplicada na actualização de custos. No âmbito da aplicação da metodologia do custo do ciclo de vida, esta actualização dos custos é feita recorrendo à seguinte expressão.

$$VAL = \sum_{p=1}^n \frac{CCV}{(1+j)^p} \quad (2.56)$$

2.5.2. Limitações da aplicabilidade do CCV

O CCV tal como outros métodos da mesma área apresenta algumas limitações aquando da sua aplicação, tais como:

- i. É uma estimativa que é feita na maioria dos casos numa fase muito embrionária dos projectos, onde ainda não existe um grande conhecimento dos mesmos;
- ii. A análise é feita considerando um ciclo de vida limitado;
- iii. A sua utilização apresenta algumas limitações em projectos que requerem alta sensibilidade, dado que é uma metodologia que tem como base previsões futuras e não factos exactos.

No entanto, as limitações da aplicabilidade do CCV muitas vezes não se prendem somente com a metodologia implícita neste, mas também nos erros que os analistas incorrem aquando da sua estimativa. Deste modo, é importante que não sejam cometidos erros como:

- Omissão da data do período em análise;
- Concentração em variáveis insignificantes para a tomada de decisão;
- Selecção errada dos custos a analisar.

CAPÍTULO 3

PROCESSO DE EXTRACÇÃO DE OLEAGINOSAS

1.Apresentação da Empresa

2.Processo de Extração

3.1. Apresentação da empresa

A Tagol – Companhia de Oleaginosas do Tejo, SA, recentemente denominada por Sovena Oilseeds Portugal, pertence ao grande grupo multinacional SOVENA, nasce em Palença de Baixo (Concelho de Almada) no ano de 1973. A actividade da Sovena Oilseeds Portugal foca-se principalmente na extração e refinação de óleo de girassol, soja e colza. Fazendo também a recepção de óleos crus para refinação, semente para extração, bem como óleos já refinados. Para além de abastecer a Sovena, e outros mercados nacionais, abastece ainda farinhas resultantes do processo de extração, para indústrias de alimentação animal.

Esta indústria é privilegiada pela sua estratégica localização junto do mar, permitindo a fácil descarga/carga dos navios (figura 3.1) e por estar localizada próximo de uma rede de auto-estradas com ligação a Espanha, Norte e Sul do país.

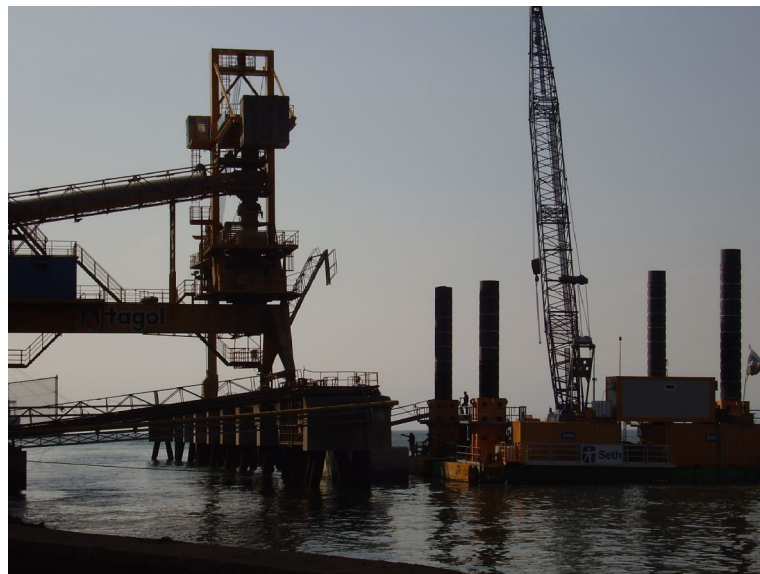


Figura 3.1:Entrepoto portuário da Sovena Oilseeds

Na Sovena Oilseeds (antiga Tagol) a produção industrial de óleos vegetais é feita em duas principais unidades de extração: extração I e a unidade de extração II.

Extração I: A primeira unidade de extração de soja da Sovena Oilseeds surge em 1975, sendo que no ano 2000 as suas instalações foram alteradas e ampliadas passando também a fazer extração de óleo de sementes de girassol, produzindo diariamente entre 800 a 850 toneladas. No ano 2007, é introduzida também a laboração de colza, produzindo-se 850-900ton/dia.

Extração II: A segunda unidade de extração de soja, entrou em funcionamento em 1981, produzindo 1500ton/dia. No ano 2000 o processo é expandido e aumentado passando a produzir cerca de 1800ton/dia.

A unidade industrial da Sovena Oilseeds (figura 3.2) é hoje um fornecedor estratégico de empresas Nacionais e Internacionais, devido não só à excelente localização, como também às boas capacidades de armazenagem, extração e refinação. Actualmente abastece não só a Sovena Portugal, como os restantes principais *players* do mercado Nacional e do mercado da alimentação animal com farinhas resultantes dos processos de extração dos óleos.

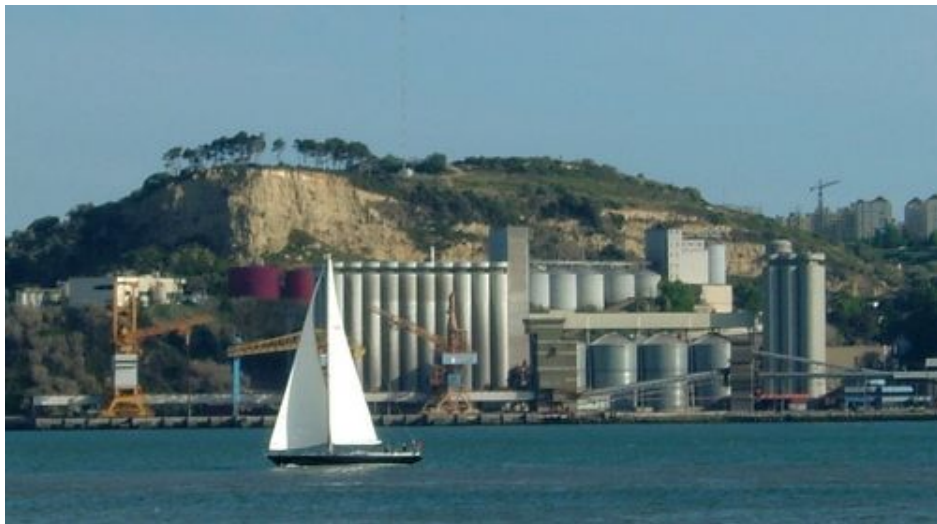


Figura 3.2: Sovena Oilseeds Portugal - Antiga Tagol

3.2. Processo de Extração

O processo de extração do óleo das oleaginosas consiste na retirada do óleo do interior do grão de soja, obtendo como produto final o óleo e o farelo. Sendo que o óleo pode ser extraído por:

- Extração mecânica;
- Extração mecânica por posterior extração de solvente;
- Extração por solvente.

Sendo que, o âmbito deste trabalho incidirá num processo de extração por solvente. Este processo de extração compreende várias etapas, tal como consta no esquema na figura seguinte.

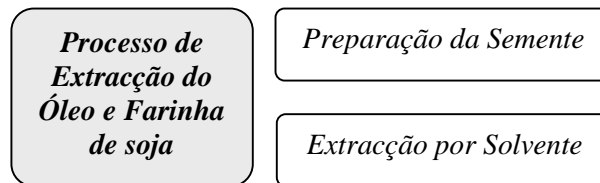


Figura 3.3: Etapas do Processo de Extração

Sendo que a representação esquemática do processo de extração também pode ser observada no anexo A.1.

3.2.1. Preparação da semente

A preparação da semente envolve um conjunto de procedimentos necessários para a preparação do grão, os quais se apresentam na figura 3.4, tendo como principal objectivo transformar a matéria-prima de modo a posteriormente se conseguir realizar uma extração rápida e económica.

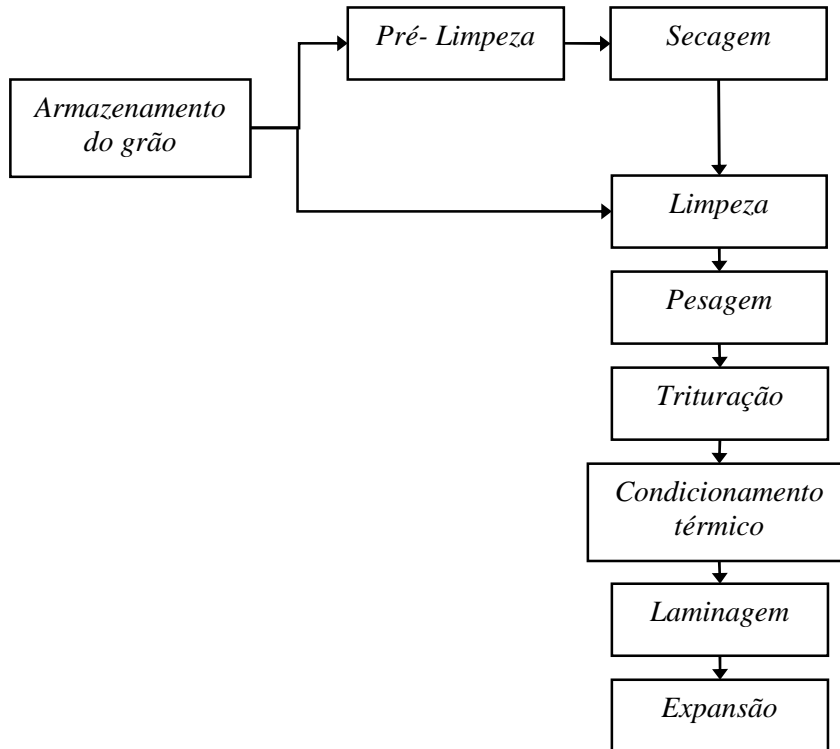


Figura 3.4: Etapas do processo de preparação do grão

Os grãos de soja chegam à Sovena Oilseeds via rodoviária sendo armazenados em silos. Posteriormente são encaminhados para o processo de pré-limpeza ou de limpeza, consoante a humidade que apresentem. Pois, a matéria-prima deve ter um teor de humidade de aproximadamente 11°C, caso contrário será necessário passar previamente por um processo de secagem de modo a reduzir a humidade. No entanto, de modo a não danificar os secadores, previamente deverá ser feita uma pré-limpeza para eliminar impurezas de maiores dimensões, como: paus, pedras, areia, terra, pó, sementes estragadas, entre outras. A eliminação das impurezas de maiores dimensões é feita recorrendo a uma tarara (equipamentos 740 e 740 A), que agita as sementes e impurezas, sendo que as partículas de maiores dimensões ficam nesta e as sementes e partículas mais pequena e mais leves passam para baixo. Sendo estas posteriormente removidas através de um sistema de aspiração, constituído por um ventilador e por um ciclone. De referir que o pó mais fino e menos denso é aspirado num filtro de mangas.

No processo de secagem os grãos pré-limpos são secos à temperatura do ar em queimadores a gás. Após a secagem do grão procede-se à limpeza, esta é uma etapa muito relevante pois é uma operação importante não só para a qualidade do produto final, para a

conservação da matéria-prima, como também para evitar danos nos equipamentos do processo. Normalmente esta limpeza é feita aquando da recepção da semente de soja, para que não sejam armazenadas impurezas bem como sementes deterioradas que possam contaminar outras e também no início do processo de preparação.

Posteriormente é feita a pesagem da soja numa balança digital (equipamento 786), sendo que toda a informação proveniente da balança digital é informatizada e utilizada como controle de entrada de matéria-prima e de eficiência do processo produtivo.

O processo de trituração consiste na quebra do grão de soja, reduzindo as dimensões do grão, de modo a facilitar os processos seguintes do condicionamento térmico e laminagem, permitindo ainda a separação da casca do grão. Sendo que este processo ocorre num equipamento que se denomina por triturador (equipamento 703 A1, 703 A2, 703 A3 e 703 A4). Os grãos de soja passam entre dois rolos dentados, que giram em sentidos contrários e em diferentes rotações, sendo quebrados em duas partes, voltando essas duas partes a passar em outros dois rolos sendo cada uma dessas partes quebrada em dois. Deste modo, a trituração consiste na quebra do grão de soja em 4 partes.

Seguidamente ocorre o condicionamento térmico da semente nos cozedores (equipamento 705 A1 e 705 A2), que consiste numa injeção directa de vapor nos grãos, aumentando a sua humidade e temperatura. Sendo o grão acondicionado a uma temperatura entre 60-65°.

Segundo Lopes (2008), este processo tem como principais objectivos:

- Fazer o controlo da humidade;
- Aglomerar as gotículas de óleo;
- Reduzir a viscosidade do óleo;
- Melhorar a plasticidade do material a ser laminado;
- Aquecimento para extração a uma temperatura óptima.

Após o condicionamento térmico os grãos são transportados para os laminadores (anexo A.2), onde ocorre um dos processos mais importantes na preparação da semente, a laminagem do grão de soja.

Esta etapa tem como objectivo a transformação da semente em flocos de 0,35mm de espessura, aumentando deste modo a superfície de contacto sólido/solvente. Sendo que esta espessura pode variar entre os 0,35-0,40mm.

De forma resumida, a laminagem consiste na passagem dos grãos entre os dois rolos dos laminadores (704 A1, 704 A2, 704 A3, 704 A4 e 704 A5) permitindo o rompimento das “bolsas” da semente, onde está contido o óleo, facilitando a posterior extração. Sendo que após a laminagem as partículas sólidas denominam-se de flocos. Estes rolos apresentam um diâmetro e comprimento igual, respectivamente de 700mm e 1950mm, giram em sentidos opostos e a velocidades diferentes, podendo estas variar entre 250 e 300rpm.

De referir que a espessura do floco da semente é um factor determinante para a extração, pois se o floco for muito espesso, a quantidade de óleo extraída por dissolução será menor. Isto acontece porque as “bolsas” que contém o óleo não foram totalmente rompidas, apresentando uma menor permeabilidade. Por outro lado, se a espessura do floco for demasiado fina, os flocos irão flutuar no solvente, não permitindo uma eficiente extração do óleo. Neste sentido, a espessura do floco é muito importante para a extração do óleo.

Deste modo, para se conseguir uma espessura ideal dos flocos, é preciso que o laminador funcione de acordo com determinados parâmetros de controlo.

Após a laminagem, os flocos são transportados para os expanders (706/2 e 706/3), onde ocorre a última etapa de preparação dos grãos. Aqui as partículas laminadas são comprimidas a temperaturas superiores à do ponto de ebulição da água. À saída do expander dá-se uma drástica redução da pressão, causando um aumento de volume como consequência de uma expansão súbita da humidade, modificando deste modo as propriedades do material. De referir que à saída dos expanders, o material expandido sai a uma temperatura elevada. De salientar que pelo expander 3 passa cerca de 80% do material laminado e pelo expander 2, aproximadamente 20%.

Segundo Lopes (2008), as principais vantagens da expansão são:

- Aumento da densidade relativamente ao material laminado;
- A massa após a extrusão fica mais porosa, não restringindo a percolabilidade do solvente.

De referir que este não é um equipamento crítico do ponto de vista do processo produtivo, pois a sua paragem não implica uma paragem do processo produtivo. Pelo que, caso um dos expanders (706/2 ou 706/3) avarie os flocos resultantes do laminador vão directamente para o extractor. Se por outro lado, avariar apenas um dos expanders em funcionamento, é enviado para o extractor uma parte de flocos provenientes dos laminadores e uma parte de material expandido proveniente do expander em funcionamento.

3.2.2. Extração por solvente

A extração por solvente consiste na extração do óleo através de um solvente químico orgânico, cujo nome IUPAC é n-hexano, mais comumente designado por hexano (C_6H_{14}). Os isómeros deste hidrocarboneto são altamente inactivos, sendo frequentemente utilizados como solvente inerte em reacções orgânicas.

Apesar deste não ser o solvente químico ideal, no entanto, satisfaz uma série de exigências necessárias no processo de extração, como:

- Fácil dissolução no óleo, sem agir sobre os outros componentes do grão;
- Possui uma margem reduzida de variação da temperatura de ebulição;
- É imiscível em água;
- Não é reactivo quando em contacto com os componentes dos equipamentos;
- Não deixa odor no óleo nem no farelo.

O facto de o hexano possuir um ponto de ebulição próximo dos 70°C, constitui também uma vantagem, na medida em que facilita a sua posterior remoção.

Este processo revela ser o mais eficiente para a extração do óleo de soja, pois para além de aumentar o rendimento do processo de extração, permite minimizar o consumo de energia, solvente e mão-de-obra. Segundo Lopes (2008), o processo de extração por solvente permite recuperar até 98% do óleo, em comparação com os 80-90% provenientes da extração mecânica. No entanto, apresenta também algumas desvantagens como o facto de ser facilmente inflamável e de ter elevados custos.

Após a etapa de preparação da semente explicada no sub capítulo anterior, é feita a extração por solvente, cujas etapas do processo se encontram representadas no esquema da figura seguinte.

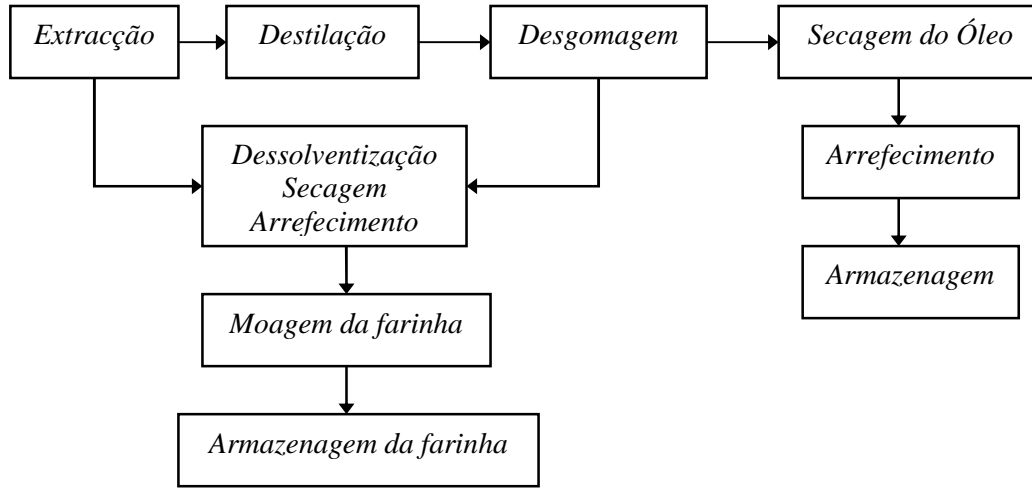


Figura 3.5: Etapas do processo de extração por solvente

O processo de extração consiste na transformação dos flocos obtidos por laminagem num meio poroso mais denso, com maior permeabilidade e de mais fácil extração. Sendo que a mistura do óleo com o solvente se denomina por miscela e é através do ponto de equilíbrio desta que é definida a velocidade de extração. Esta velocidade de extração que tem como objectivo manter o ponto de equilíbrio da extração, não é sempre constante, podendo variar por exemplo, de acordo com a quantidade de material expandido/laminado que entra no extractor (equipamento 3T).

Existem dois modos de extração básicos: a extração contínua e a extração semi-contínua. Pelo que no âmbito deste trabalho apenas se aborda o método utilizado na unidade industrial em estudo – a extração contínua. Existem vários sistemas de extração contínua, no entanto, o mais utilizado e também o existente na unidade industrial em estudo é o extractor do tipo “De Smet”. Este extractor é longo e horizontal, sendo constituído por um conjunto de tabuleiros formados por painéis de chapa perfurada. Estes são cobertos por uma rede de malha metálica, os quais têm movimentos lentos e lineares. Na figura 3.6 é apresentado um extractor do tipo “De Smet”, que embora não seja o existente na unidade industrial, possui características muito semelhantes, as quais permitirão uma melhor compreensão do processo.

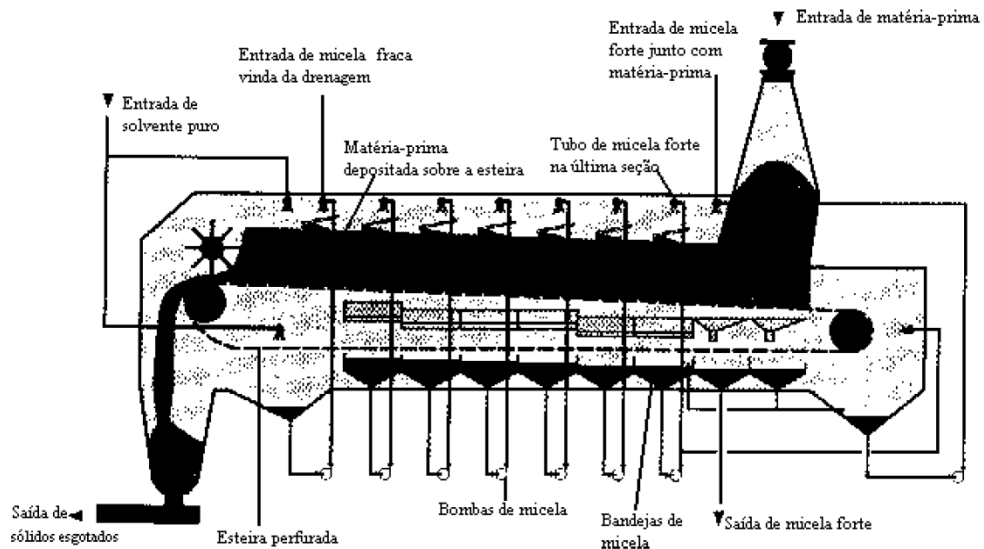


Figura 3.6: Extrator do tipo “De Smet”

(Fonte: Thomas, 2003)

De referir ainda que nesta extração contínua podem ser usados os seguintes métodos de extração:

- Método de submersão;
- Método de percolação.

Pelo que nesta unidade industrial a extração de oleaginosas é feita através do método de percolação. Designando-se por percolação à passagem do solvente através das partículas dos grãos de soja.

Tal como se pode verificar na figura 3.6, a matéria-prima e o solvente entram por locais opostos, movimentando-se em contracorrente. O solvente entra frio a uma pressão de aproximadamente 3 kg/cm^2 , pelo que à medida que vai percorrendo o extrator no sentido contrário ao da matéria-prima, este vai aumentando a sua temperatura. Isto ocorre devido ao contacto que este vai tendo com a matéria-prima quente. No extrator existe uns tapetes de chapa perfurada com uma ligeira inclinação para cima, que se vão movimentando lentamente. A matéria-prima é então transportada nestes tapetes e vai sendo “lavada” numa série de distribuidores de miscela que estão localizados ao longo do extrator. Debaxo deste tapete existem várias tremonhas que recebem a mistura do hexano com o óleo, sendo esta posteriormente aspirada por um conjunto de bombas. À medida que os flocos de soja se vão movimentando ao longo do extrator, a pressão dentro da matéria-prima vai aumentando. De referir também que a temperatura da miscela no processo de extração é

de aproximadamente 50°C. Todo este processo de extração desde que entra a matéria-prima no extractor até sair demora cerca de 2h.

De acordo com a descrição anteriormente feita, verifica-se que a eficiência do processo de extração depende de factores como:

- Temperatura de extração;
- Tempo de extração;
- Quantidade de solvente;
- Humidade do grão;
- Espessura e forma do floco.

Após a extração, à saída do extractor, a miscela que contém cerca de 24-28% de óleo, é posteriormente transferida para os evaporadores, onde é feita a destilação. Esta destilação é feita em evaporadores tubulares, verticais que se encontram dispostos em série.

Esta miscela que sai do extractor, é então transportada por uma bomba para um filtro de segurança que garante que não passa farelo para o evaporador, posto isto, é então transportada para o equipamento 60, onde é aquecido a uma temperatura de cerca de 50°C. Este equipamento é designado por 60, porque aqui é eliminado cerca de 60% de hexano existente na miscela. Sendo este hexano eliminado, transportado para os condensadores. De referir que este evaporador é o chamado “evaporizador economizador” por utilizar o vapor que sai do dessolventizador para o aquecimento.

Posteriormente, a miscela vai para o equipamento 18's onde é retirado cerca de 18% de hexano, saindo a uma temperatura de 100°C. Após o processo de destilação da miscela, é esperado que esta tenha cerca de 95-98% de massa de óleo. De referir que o hexano que daqui foi removido é reutilizável novamente na etapa de extração.

Um factor importante a ter em conta no processo de destilação é o controle da temperatura a que a miscela é aquecida, pois quando sujeita a altas temperaturas faz com que haja uma fixação de corantes ao óleo.

Muito embora o farelo que sai do extractor pareça visivelmente seco, o mesmo não é verdade. Pois, apresenta pequenas quantidades de hexano (25-30%) e vapor de água.

Deste modo, o farelo que sai do extractor é transportado por um transportador de corrente para o dessolventizador (equipamento 70), onde é sujeito a um processo de

dessolventização. No meio industrial, “dessolventizar” significa retirar o solvente e “tostar”. O que significa que além da retirada do solvente residual, o farelo de soja recebe um tratamento de calor e de humidade, visando o aumento da sua qualidade nutricional.

O dessolventizador desta unidade industrial, é um equipamento vertical de grandes dimensões, com cerca de 12 pisos. O farelo entra pela parte superior deste acomodando-se na eclusa, a qual irá transportar o farelo no sentido descendente ao longo do dessolventizador.

Ao longo dos 3 primeiros pisos é eliminado quase a totalidade do hexano presente na farinha, ainda que nos pisos seguintes seja eliminado uma pequena percentagem de hexano. Posteriormente é feita a introdução da lecitina na farinha e por último no piso 10, 11 e 12 ocorre então a tostagem da farinha, garantindo deste modo que a farinha que sai do dessolventizador sai completamente seca. De referir que esta lecitina utilizada na farinha é proveniente do processo de desgomagem, que será descrito de seguida. Este é um processo que demora em média 60 minutos.

O óleo destilado proveniente da extração é então transportado para os centrifugadores, onde é feita a desgomagem. Este processo caracteriza-se pela remoção de lecitinas (ou fosfatídeos) presentes no óleo. De certo modo pode dizer-se que este é considerado a primeira etapa de refinação do óleo bruto.

O método de desgomagem mais vulgarmente utilizado e também o aplicado nesta unidade extração, é o de adição água ao óleo aquecido (100°C). Pelo que é adicionado entre 2 a 4% de água ao óleo, o que equivale a dizer que são introduzidos 400ml de água por cada 16000ml de óleo. Após a desgomagem do óleo, é esperado que este saia dos centrifugadores com cerca de 98% em óleo.

Segundo Baptista (2007), este método tem como principais objectivos não só a remoção dos fosfolípidos e produção de uma boa qualidade de óleo refinado, como também o aproveitamento da lecitina para a indústria alimentar. De referir que a lecitina aproveitada após o processo de desgomagem, é transportada para o dessolventizador, onde é aproveitada.

Posteriormente é feita a secagem do óleo, com o principal objectivo de eliminar a água existente no óleo desgomado que sai do centrifugador. Inicialmente o óleo é aquecido a uma temperatura entre 80-100°C por injeção de vapor.

De seguida é arrefecido num permutador de placas, aproveitando-se a sua energia para elevar a temperatura da mistura de percolação, sendo depois armazenado à temperatura ambiente.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE ESTATÍSTICA DO SISTEMA GLOBAL

1.Introdução

2.Análise global do sistema

3.Análise de estatística de falhas do sistema global

4.1. Introdução

A análise global do sistema, bem como a análise de tendência dos dados é fundamental para se compreender a evolução do comportamento do sistema reparável ao longo dos últimos dois anos. É neste sentido que a análise estatística de falhas, recorrendo a métodos como o Teste de Laplace é um método valioso para a compreensão da evolução da taxa de falhas dos equipamentos. Pois, só analisando e conhecendo o comportamento da taxa de falhas dos equipamentos, se torna possível fazer uma previsão futura da evolução da mesma, permitindo uma actuação preventiva.

Em alguns casos quando se está perante uma unidade industrial cujos equipamentos já se encontram numa fase avançada do seu ciclo de vida e estes apresentam um elevado número de avarias, é necessário estabelecer prioridades de actuação da manutenção nos equipamentos, bem como no investimento dos mesmos. É neste sentido que o Diagrama de Pareto aplicado ao Índice Crítico de Falha das 24 famílias de equipamentos, constitui uma mais valia na aplicação desta metodologia. Pois deste modo irá permitir a identificação dos equipamentos mais críticos do ponto de vista da sua fiabilidade. Os quais serão posteriormente analisados do ponto de vista dos indicadores de desempenho (Teste de Laplace, *MTBF*, *MTTR* e disponibilidade), permitindo a posterior identificação da família de equipamentos mais críticos do ponto de vista do risco de falha.

4.2. Análise global do sistema

A análise da informação do histórico dos equipamentos da unidade industrial em estudo, deverá ser o primeiro passo na medida em que só deste modo é possível compreender o comportamento dos equipamentos ao longo do tempo.

A análise das avarias do sistema foi feita com base num histórico de dados referente às avarias do conjunto de equipamentos reparáveis da fábrica de extracção de oleaginosas. Este foi analisado de acordo com as 1.772 avarias e com base em informação como:

- Identificação dos equipamentos (nome e referência);
- Tipo de falha;
- Data de ocorrência da falha;
- Motivo de falha;
- Tempo de reparação da falha.

É importante reter que possivelmente nestes últimos dois anos tenham ocorrido alterações na evolução do comportamento dos equipamentos, devido não só a alterações que tenham ocorrido ao nível da manutenção, como também ao nível da implementação de novos sistemas. Pois, durante o período em análise ocorreram duas revisões gerais (uma por ano) da unidade industrial, bem como várias acções de manutenção preventiva. Pelo que posteriormente a estas é de esperar que o comportamento dos equipamentos se altere quanto ao risco de falha e evolução da taxa de falhas. De referir que a revisão geral que ocorre anualmente na unidade industrial em estudo, consiste numa análise detalhada dos equipamentos e instalações, procedendo-se também a limpezas, substituições de componentes, pequenos ajustes nos equipamentos e instalações, monitorização da condição dos equipamentos, entre outras.

Antes da análise do histórico foi necessário agrupar os vários equipamentos reparáveis nas várias famílias, de modo a tornar possível a análise individual de cada família. Tendo sido agrupados em famílias de equipamentos que apresentam as mesmas características e funcionalidades. Deste modo, o sistema de Extracção da fábrica II é constituído pelas famílias de equipamentos que se apresentam no quadro do anexo B.1. De referir que neste quadro constam 10 famílias, que não serão tidas em conta no desenvolvimento do presente estudo, por se tratar de famílias de equipamentos com reduzido número de avarias (inferior

a 4) e pelo seu insignificante impacto na produção e conseqüentemente para a função de risco do sistema reparável (unidade industrial).

Antes de se proceder à análise estatística do histórico de dados, é necessário analisar das 24 famílias de equipamentos quais as que mais contribuem para o aumento do número de falha dos equipamentos. Pois, deste modo é possível estabelecer prioridades na tomada de decisão, analisando com maior atenção as principais causas do número de avarias.

4.2.1. Análise do número de falhas

As falhas que ocorreram no sistema reparável (unidade industrial) considerando uma análise às 24 famílias de equipamentos, tiveram origem em causas:

- Mecânicas;
- Eléctricas;
- Limpeza;
- Atascamentos.

As quais se encontram representadas no gráfico da figura 4.1.

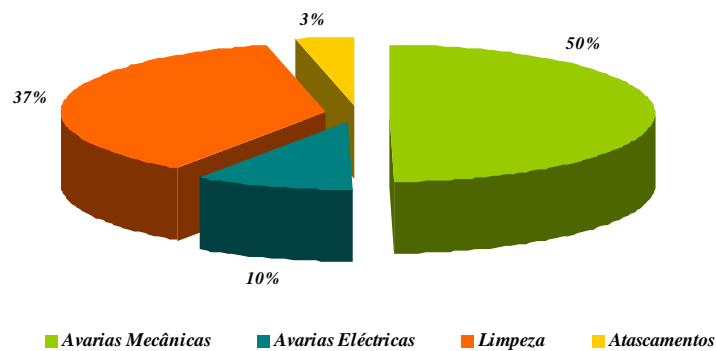


Figura 4.1: Causas das avarias do conjunto das 24 famílias de equipamentos

Pelo que através do gráfico da figura anterior se destacam as causas de origem mecânica, com maior número de ocorrência, seguidas das avarias por motivos de limpeza. Verificando-se que as avarias por atascamentos e eléctricas ocorrem de um modo mais esporádico, não tão frequente.

Embora muitas vezes a limpeza seja vista como uma actividade de manutenção preventiva, tal não deve ser generalizado a todas as situações. Pois, tal como se verifica na unidade industrial em estudo, muitas vezes os equipamentos falham devido por exemplo, ao excesso de acumulação de grãos, ou outras partículas sólidas num dado componente. Sendo necessário removê-los para que este volte a desempenhar a sua função de um modo eficiente. Em alguns casos, a necessidade de limpeza do equipamento torna-se a principal causa de avaria destes.

O número de avarias dos equipamentos é algo que conduz a um aumento da função de risco do sistema, como tal torna-se interessante analisar as 24 famílias de equipamentos no sentido de perceber, quais as que mais contribuem para o aumento da função de risco do sistema. No anexo B.2, é possível visualizar o número de avarias bem como o tempo de paragem de cada uma das 24 famílias de equipamentos. De referir que para efeitos de análise global das 24 famílias de equipamentos, se teve como referência todas as avarias que constam do histórico de dados inclusive aquelas que ocorrem em vários equipamentos de uma dada família e os quais não são identificados.

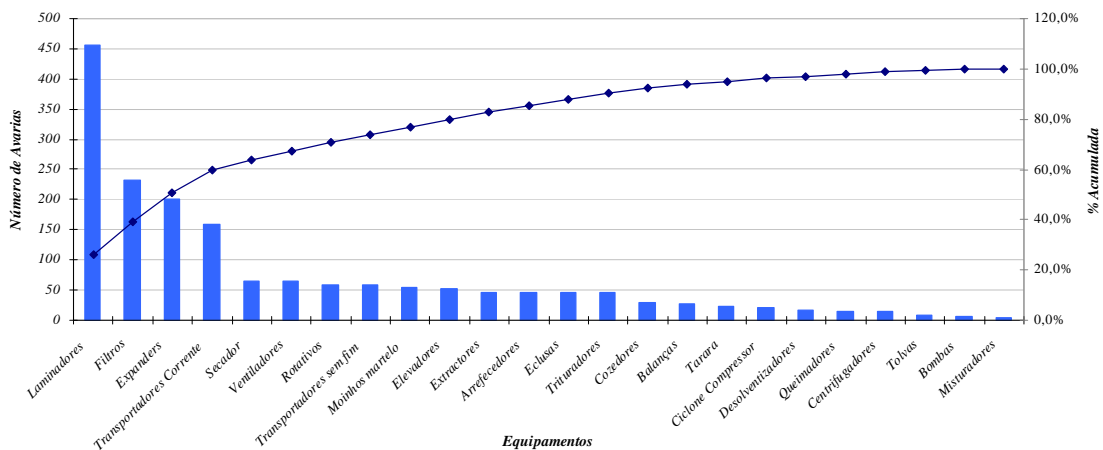


Figura 4.2: Diagrama de Pareto – Número de avarias

De acordo com o diagrama de Pareto da figura 4.2, verifica-se que cerca de 80% das avarias que ocorrem na unidade industrial são devidas às avarias que ocorrem nos laminadores, nos filtros, nos expanders, nos transportadores de corrente e no secador. No entanto, é de referir que o facto de ocorrer maior número de avarias num determinado equipamento, não significa por isso que seja o mais crítico do ponto de vista da fiabilidade. Daí a importância de se fazer uma análise que leve em conta não só o parâmetro do número

de avarias, como também outros indicadores.

4.2.2. Determinação do Índice Crítico de Falha

Com a actual competitividade que se faz sentir, bem como com a crise económica que se atravessa, aumenta também a preocupação das empresas em conseguir um maior nível de serviço. Sendo que este nível de serviço consiste em ter os equipamentos disponíveis o máximo tempo disponível para a produção, minimizando tanto quanto possível, tempos não produtivos. Estes tempos não produtivos podem ser resultado de vários factores, sendo que no âmbito deste trabalho se destacam os tempos de não produção devido a avarias dos equipamentos. No quadro seguinte encontram-se representados os tempos médios de paragem (em horas) das várias famílias de equipamentos desta unidade de extracção.

Quadro 4.1: Tempo médio de paragem

<i>Equipamento</i>	<i>Tempo médio de Paragem (horas)</i>
<i>Arrefecedores</i>	4,21
<i>Balanças</i>	1,53
<i>Bombas</i>	6,65
<i>Centrifugadores</i>	8,61
<i>Ciclone Compressor</i>	8,06
<i>Cozedores</i>	5,36
<i>Desolventizador</i>	7,14
<i>Eclusas</i>	6,79
<i>Elevadores</i>	2,44
<i>Expanders</i>	4,49
<i>Extractores</i>	2,06
<i>Filtros</i>	1,07
<i>Laminadores</i>	4,22
<i>Misturador</i>	6,80
<i>Moinhos martelo</i>	6,17
<i>Queimadores</i>	4,02
<i>Rotativos</i>	2,19
<i>Secador</i>	3,91
<i>Tarara</i>	2,71
<i>Tolvas</i>	2,17
<i>Transportadores Corrente</i>	4,37
<i>Transportadores sem fim</i>	4,07
<i>Trituradores</i>	2,84
<i>Ventiladores</i>	6,37

Pelo que através do quadro 4.1 se verifica que a família dos ciclones/compressores e dos centrifugadores são aquelas que apresentam maiores tempos médios de paragem, de 8,06 e 8,61 horas respectivamente. Sendo que em média, cada avaria dos ciclones/compressores corresponde a estar 8,06 h parado e nos centrifugadores 8,61 h.

Portanto, torna-se importante não só analisar o número de avarias de cada família do ponto de vista quantitativo, como também em termos do tempo de paragem de produção. Pois, segundo Cabral (1998) na maioria das vezes a importância de uma avaria não é tanto pelas suas características (quantitativas ou qualitativas), mas sim, pelas consequências que esta implica no contexto onde o equipamento se encontra. Sendo que no caso de uma unidade industrial, uma das grandes consequências é a não produção.

Com base na análise feita anteriormente, torna-se importante determinar de acordo com estes parâmetros qual o conjunto de equipamentos mais críticos do ponto de vista da não produção. Neste sentido, estimou-se o número de horas que os equipamentos estiveram parados, o qual se designou por Índice Crítico de Falha. Tendo este sido obtido com base no número de falhas de cada equipamento e no tempo médio de paragem, o qual é definido pela expressão seguinte.

$$\text{Índice Crítico de Falha (ICF)} = n_f \times \bar{T}_{\text{Paragem}}$$

Onde n_f representa o número de falhas e \bar{T}_{Paragem} o tempo médio de paragem de cada avaria.

Por exemplo, para os laminadores, o índice crítico de falha é obtido através da multiplicação entre o número de falhas durante o período em estudo (457 falhas) e o tempo médio de paragem destes (4,22 horas), pelo que tem um índice crítico de falha de 1.920,10 horas de paragem. Tendo sido feito o mesmo raciocínio para as restantes famílias de equipamentos.

Sabendo que cada laminador produz 375 toneladas por dia, isto é, 375 toneladas a cada 24h, então, nas 1.920,10 h em que esteve parado poderia ter produzido aproximadamente 30.000 toneladas. Pelo que se verifica que os tempos de paragem têm um grande impacto no processo produtivo.

No quadro que se encontra no anexo B.2, é possível observar os valores do índice crítico de falha obtidos para as restantes famílias de equipamentos. Portanto, para uma avaliação do nível crítico de cada família de equipamentos, é feita uma avaliação de acordo com uma análise de Pareto, a qual se apresenta na figura seguinte.

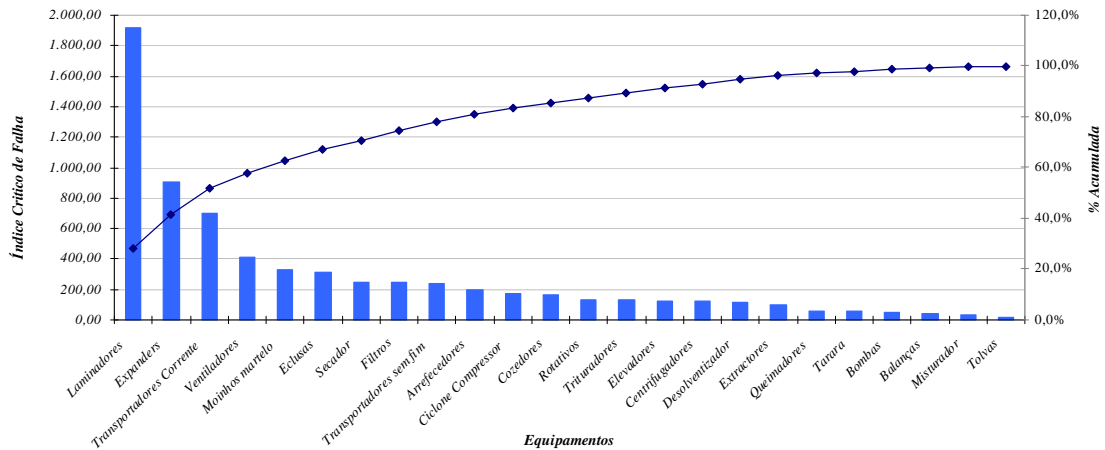


Figura 4.3: Diagrama de Pareto – Índice Crítico de Falha

De acordo com a análise de Pareto, verifica-se que 80% do tempo de paragem dos equipamentos tem origem em 20% dos equipamentos. Sendo que neste caso, é devido a cerca de 5 equipamentos, os quais se encontram esquematizados no gráfico da figura 4.3. Assim, os equipamentos mais críticos do ponto de vista do Índice Crítico de Falha são os laminadores, os expanders, os transportadores de corrente, os ventiladores e os moínhos martelo. Sendo que estes são os equipamentos que mais tempo estão inactivos, seja devido à grande frequência com que se verificam as falhas, ou ao elevado tempo de paragem, ou a ambos.

4.3. Análise de estatística de falhas do sistema global

Após a análise das várias famílias de equipamentos e tendo-se chegado à conclusão de quais os equipamentos mais críticos segundo o índice crítico de falha, é necessário analisá-los do ponto de vista dos seus indicadores de desempenho de manutenção. Pois tal como consta em Pereira (1996), só um tratamento dos indicadores de manutenção em termos quantitativos, permite avaliar de forma racional os benefícios dos investimentos realizados pelas empresas. Isto tendo como principal objectivo o aumento da produtividade através da

optimização do funcionamento da manutenção.

Inicialmente é importante conhecer a evolução da taxa de falhas de cada uma destas famílias de equipamentos, para consoante esta, assim se proceder à seguinte análise. Neste sentido, aplicando a expressão 2.17, para determinar a estatística do teste (z_0) do teste de Laplace obtiveram-se os resultados que constam no quadro 4.2, apresentando-se os cálculos intermédios nos anexos B.3, B.4, B.5, B.6 e B.7.

De referir que é preciso ter especial atenção no cálculo da estatística do teste (z_0), para o conjunto destes equipamentos dado que o número de falhas é dado pelo somatório do número de falhas de cada equipamento da família, o mesmo para o tempo total do ensaio.

Quadro 4.2: Resumo dos Indicadores de Manutenção

<i>Equipamentos</i>	z_0	<i>Taxa de Falhas</i>	<i>MTBF (dias)</i>	<i>CMTBF (dias)</i>
<i>Laminadores</i>	-4,09	<i>Decrescente</i>	-	1,67
<i>Expanders</i>	4,18	<i>Crescente</i>	-	-
<i>Transportadores Corrente</i>	-1,42	<i>Constante</i>	3,53	-
<i>Ventiladores</i>	1,47	<i>Constante</i>	10,00	-
<i>Moinhos Martelo</i>	-0,21	<i>Constante</i>	10,07	-

Deste modo, verifica-se que para a família dos laminadores, a aplicação do teste de Laplace conduz a um valor da estatística do teste de $z_0 = -4,09$, pelo que se rejeita a hipótese nula (H_0 : Segue um *PPH*) para um nível de significância de 5%. Concluindo-se que se está perante um *PPNH* com uma taxa de falhas decrescente, apresentando maiores tempos desde a última falha, nas avarias mais recentes. A taxa de falhas decrescente deste conjunto de equipamentos representada na figura 4.4, pode ser resultado da recente substituição de rolos efectuada num dos laminadores.

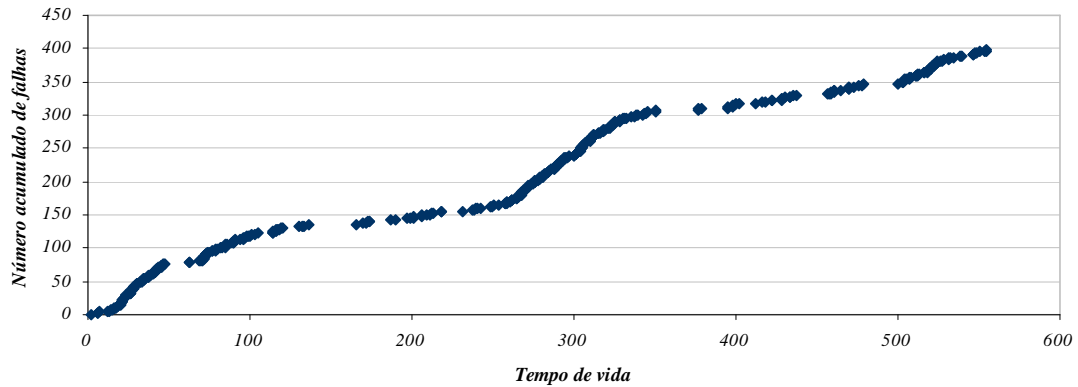


Figura 0.4: Número acumulado de falhas dos laminadores em função do tempo de vida

Através da figura 4.4 verifica-se que aproximadamente até aos 120 dias, a família dos laminadores apresenta uma taxa de falhas decrescente, sendo que esta evolui para uma taxa de falhas constante dos 120 aos 280 dias, a qual posteriormente se torna numa taxa de falhas crescente entre os 280 dias e os 320 dias, aproximadamente. A partir dos 320 dias, com base no gráfico da figura 4.4 prevê-se que a evolução da taxa de falhas repita novamente o padrão anteriormente referido. Pelo que este padrão leva a concluir que a taxa de falhas deste equipamento se comporta segundo a denominada curva da banheira.

Ainda que em termos práticos a fase de taxa de falhas decrescente não corresponda exactamente à fase infantil do equipamento, dado a idade do mesmo. No entanto, a existência desta taxa de falhas decrescente pode ser resultado neste caso prático, de alguma grande melhoria num dos equipamentos, ou até mesmo devido à grande revisão anual que ocorre. Um sistema reparável pode ser plenamente restaurado após uma perda de desempenho em alguma das suas funções, sendo que após a reparação se supõe que o equipamento/componente, retoma um nível de desempenho como se a falha não tivesse ocorrido.

Pelo que durante algum tempo, esta taxa de falhas tende a manter-se constante, até que comece a existir um maior desgaste dos equipamentos. Conduzindo então a um aumento do número de falhas e dando origem a uma taxa de falhas crescente.

Dado que a família dos laminadores apresenta uma taxa de falhas decrescente, então terá de ser modelada segundo o Modelo de Crow, ou também designado por modelo de fiabilidade crescente. Estimados os coeficientes através do método da máxima

verosimilhança, e das expressões 2.27 e 2.26, obtêm-se $a = 1,831$ e $b = 0,871$. Deste modo a taxa de falhas dada pela expressão 2.25, pode ser representada do seguinte modo,

$$\hat{\rho}(\tau) = 2,158\tau^{-0,203}$$

Dado que se trata de uma taxa de falhas decrescente, então não faz sentido a estimativa do tempo médio entre falhas (*MTBF*). No entanto, o inverso desta taxa de falhas, pode constituir uma indicação importante sobre a evolução da taxa de falhas dos laminadores, sendo este dado designado por tempo médio cumulativo entre falhas (*CMTBF*).

No caso dos laminadores, estes apresentam um *CMTBF* de 1,67 dias, sendo que a cada 1 dia e meio ocorre uma avaria nos laminadores. De referir que esta avaria pode ocorrer somente num dos laminadores do conjunto, ou simultaneamente em mais do que um.

Tendo sido efectuado o mesmo raciocínio para os restantes equipamentos, sabe-se que os expanders apresentam uma taxa de falhas crescente pois $z_0(4,18) > z_{0,05}(1,64)$, pelo que seguem um *PPNH*. Com base numa rápida observação do quadro 4.2, de acordo com a taxa de falhas crescente dos expanders poder-se-ia afirmar que estes são os equipamentos mais críticos do ponto de vista da fiabilidade. No entanto, é importante que se faça uma análise do ponto de vista prático. Verificando-se o seguinte:

- Das 174 avarias que ocorreram, 147 ocorreram no expander 2 e 27 no expander 3;
- Cerca de 50% das falhas que ocorreram no expander 2, tiveram como causa a quebra dos fusíveis mecânicos.

De acordo com a informação descrita acima verifica-se que o expander 2 é o que mais contribui para a função de risco da família dos expanders. Pelo que a principal causa de avaria destes está nos fusíveis. Sendo que estes avariam devido à inexistência de uma acção de limpeza frequente, pelo que se dá a acumulação de material e faz com que os fusíveis mecânicos partam. Esta acção de limpeza no expander 2, não é feita de um modo mais frequente dado que esta não pode ser feita com o equipamento em funcionamento. Contrariamente ao que acontece no expander 3, no qual a limpeza é feita de um modo relativamente mais simples, sendo feita com o equipamento em funcionamento.

De referir que não se justifica ser feito um investimento neste equipamento, porque este equipamento só faz o expandido de cerca de 20% dos flocos, sendo que o expander 3 expande aproximadamente 80% dos flocos e apresenta apenas 27 falhas durante o período em análise.

É importante referir que para equipamentos com taxa de falhas crescente não se aplica o cálculo do *MTBF*, dado que o número de avarias está a aumentar, o tempo entre falhas irá diminuir, pelo que o tempo médio entre avarias iria ser sempre superior a esse intervalo.

Relativamente aos restantes equipamentos (transportadores de corrente, ventiladores e moinhos martelo), verifica-se que seguem um *PPH*, apresentando uma taxa de falhas constante. Tendo se obtido através da expressão 2.2, um tempo médio entre falhas de 3,53, 10,00 e 10,07 dias, respectivamente.

Um outro indicador de interesse para a manutenção e de grande importância é a disponibilidade dos equipamentos, sendo este determinado através da expressão 2.4, com base no *MTBF* e no *MTTR* dos equipamentos. No quadro seguinte são apresentados os valores do *MTTR* e da disponibilidade dos equipamentos em análise, exceptuando para os expanders. Pois, como não faz sentido a estimativa do *MTBF* destes, então não é possível a estimativa da sua disponibilidade.

Quadro 4.3: Disponibilidade dos Equipamentos

<i>Equipamentos</i>	<i>MTTR (horas)</i>	<i>Disponibilidade</i>
<i>Laminadores</i>	3,91	89,7%
<i>Transportadores de Corrente</i>	4,37	95,1%
<i>Ventiladores</i>	6,37	97,4%
<i>Moinhos Martelo</i>	6,17	97,5%

Ainda que os laminadores sejam dos equipamentos mais críticos do ponto de vista do número de falhas do conjunto em análise, estes são os que apresentam um menor tempo médio de reparação (3,91 horas). Pelo que através do histórico de dados se verifica que, de um modo geral as avarias conseguem ser reparadas num curto espaço de tempo, não só devido à rápida intervenção dos técnicos, mas também porque muitas destas são de fácil e rápida resolução. O mesmo não se verifica relativamente ao *MTTR* dos moinhos martelo e

dos ventiladores, apresentando um tempo médio de reparação na ordem das 6h.

Através do quadro 4.3 conclui-se que os laminadores são aqueles que apresentam um indicador de disponibilidade mais crítico (89,7%), sendo estes os principais responsáveis por a disponibilidade do sistema não ser mais elevada. O mesmo já era de esperar dado que estes equipamentos são os que apresentam menor tempo entre falhas. A baixa disponibilidade destes equipamentos pode ter origem no facto de apresentar um elevado número de falhas, muito embora apresentem uma taxa de falhas com tendência decrescente.

Em suma, de acordo com a análise realizada quer aos dados obtidos, como em termos práticos, verifica-se que a família de equipamentos que mais contribui para o aumento da função de risco da unidade industrial de extracção de soja, são os laminadores.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE FALHAS E DO CCV – LAMINADORES

1.Introdução

2.Laminadores – Características e Funcionamento

3.Análise individual de falhas dos laminadores

4.Modelo de Riscos Proporcionais – Laminadores

5.Análise do CCV

5.1. Introdução

Neste capítulo é feito um estudo ao estado actual dos laminadores, não só por este ser o equipamento mais crítico do ponto de vista da fiabilidade e função de risco, mas também por ser dos equipamentos mais importantes para o processo de extracção. É feita uma breve análise aos componentes que constituem os laminadores, do ponto de vista da fiabilidade, no sentido de perceber qual destes é o que mais contribui para o aumento da função de risco. De referir que o conjunto dos cinco laminadores, serão descritos ao longo deste trabalho de acordo com a seguinte referência, 704 A1, 704 A2, 704 A3, 704 A4 e 704 A5.

5.2. Laminadores – Características e Funcionamento

O laminador é o equipamento responsável pela laminagem dos grãos, transformando-os em flocos. Pelo que estes recebem os grãos triturados provenientes dos trituradores, laminando-os de acordo com uma espessura especificada de 0,35mm. De referir ainda que estes laminadores funcionam em paralelo, pelo que a avaria de um deles não implica a paragem dos outros.

Estes são equipamentos de dimensões relativamente grandes, sendo a sua estrutura

composta por aço forte.

De um modo geral, os laminadores existentes na unidade industrial em estudo podem ser decompostos em seis principais órgãos, os quais se apresentam no esquema da figura 5.1. De referir que cada um destes órgãos está subdividido em vários componentes. Pelo que é apresentado um esquema no anexo C.5, onde consta uma decomposição geral dos vários componentes de cada órgão.



Figura 5.1: Órgãos constituintes dos laminadores

Dos componentes apresentados na figura anterior, os rolos são sem dúvida os mais importantes quer para o processo de laminagem, como também posteriormente para o processo de extracção. Pois, são os principais responsáveis pela transformação do grão num floco.

Todos os laminadores do conjunto são constituídos por dois rolos lisos, de comprimento (1950mm) e diâmetro (700mm) igual. Estes giram em sentidos opostos e a velocidades diferentes, pelo que estas velocidades podem variar entre os 250 e os 300 rpm. Sendo que a transmissão de energia entre estes se deve a um diferencial de accionamento por correia. Necessitando ainda de uma pressão que é transferida através dos cilindros hidráulicos.

Cada rolo do laminador está equipado com um raspador que abrange todo o comprimento do rolo. Este raspador é pressionado contra o rolo a uma pressão constante, ajustável, sendo esta pressão gerada por pesos instalados sobre o sistema de alavanca.

Nos anexos C.1 e C.2 é possível visualizar as características técnicas não só dos actuais laminadores, como também dos laminadores em análise de investimento.

5.2.1. Causas de avaria e análise do órgão mais crítico

A partir do conhecimento da constituição dos laminadores, do seu modo de funcionamento e do tipo de falhas ocorrido, é importante identificar as causas de avaria e quais os componentes que as causaram. Sendo que esta identificação não tem como objectivo tornar os modos de avaria como covariáveis, mas sim, classificá-los para mais fácil compreensão de ocorrência dos mesmos.

O conjunto das 457 falhas que ocorreram durante o período em estudo nos laminadores, tiveram origem em causas mecânicas, eléctricas, limpeza ou atascamentos. O que analisando o histórico de dados se verifica que 88% das avarias são de origem mecânica, 2% das paragens por motivos de limpeza, 9% são avarias de origem eléctrica, 1% devido a atascamentos, tal como consta no gráfico da figura seguinte.

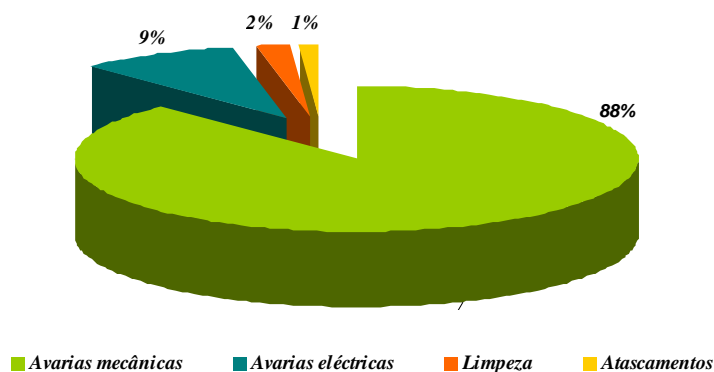


Figura 5.2: Origem das avarias do conjunto dos laminadores

Para além destas causas de avaria, a fiabilidade do equipamento é também afectada não só pelo facto de se tratar de um equipamento com cerca de 30 anos de funcionamento, mas também por estar neste momento a funcionar acima da capacidade prevista deste.

De referir que no âmbito deste estudo, apenas foi efectuada uma análise das avarias que ocorreram ao nível 1 do conjunto dos 5 laminadores (Sistema Hidráulico, Sistema Accionamento, Carcassa, Rolos, Sem-fins e Quadro comando), devido à grande dificuldade encontrada na identificação do motivo de avaria e em muitos casos à falta de informação relativa ao motivo da avaria. Sendo que cerca de 38% das avarias que ocorreram nos laminadores, não é conhecido o motivo da avaria e 5% das avarias ocorreram por outros motivos.

Após uma análise às causas de avarias dos componentes que constituem os 5 laminadores, obtiveram-se os resultados que constam no quadro seguinte.

Quadro 5.1: Índices de avaria dos componentes do conjunto dos laminadores

<i>Componentes</i>	<i>Número de Avarias</i>	<i>Tempo Total Reparação (h)</i>
<i>Sistema Hidráulico</i>	<i>160</i>	<i>578,28</i>
<i>Sistema Accionamento</i>	<i>11</i>	<i>31,10</i>
<i>Carcassa</i>	<i>55</i>	<i>208,52</i>
<i>Rolos</i>	<i>14</i>	<i>77,79</i>
<i>Sem-fins</i>	<i>15</i>	<i>88,07</i>
<i>Quadro Comando</i>	<i>1</i>	<i>1,25</i>

Pelo que através do quadro 5.1, se verifica que o componente do laminador que apresenta maior número de avarias, bem como maior tempo de reparação é o Sistema Hidráulico dos laminadores. Portanto, é este que tem maior contributo para a função de risco dos laminadores, conduzindo a um maior número de falhas destes equipamentos.

Dada a dificuldade em classificar os motivos de avaria por componente, não é possível fazer uma análise rigorosa às causas de avaria. No entanto, relativamente ao componente mais crítico do ponto de vista de avarias (Sistema Hidráulico) torna-se interessante identificar as principais causas de avaria, sendo estas:

- i. Substituição do Macaco Hidráulico;
- ii. Avaria do Macaco Hidráulico;
- iii. Fugas de Óleo;
- iv. Substituição tubo do óleo.

5.3. Análise individual de falhas dos laminadores

Tal como referido anteriormente, a análise da sequência das falhas é fundamental para a avaliação do comportamento global do sistema. Só assim, é possível identificar e explicar quais os componentes do sistema que mais contribuem para a função de risco. No esquema da figura 5.3, encontra-se uma representação esquemática da sequência de falhas que ocorreram nos 5 laminadores.

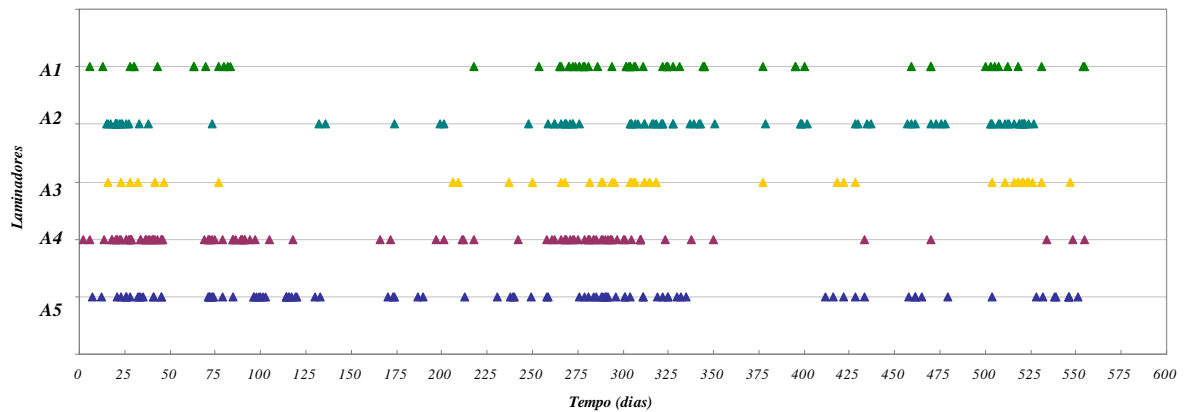


Figura 5.3: Representação esquemática das avarias dos laminadores

Após se ter verificado que a família dos laminadores é a mais contribui para a função de risco do sistema (unidade industrial) e no âmbito dos objectivos deste trabalho, é relevante identificar e analisar qual dos cinco laminadores existentes é mais crítico em termos de níveis de fiabilidade.

Durante o período de tempo em análise, os laminadores tiveram cerca de 457 falhas, das quais 41,7% ocorreram no laminador A4, tendo sido este o que mais avarias teve durante o período em análise.

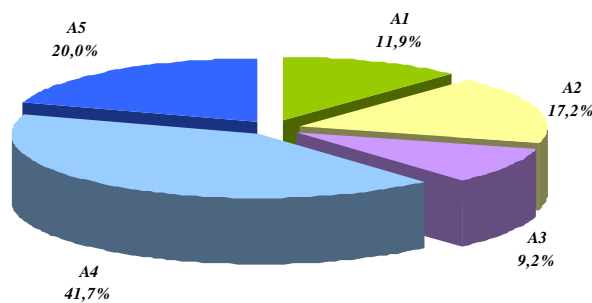


Figura 5.4: Avarias individuais dos Laminadores

No entanto, o facto de ter ocorrido maior número de falhas no laminador A4, não quer isto dizer que seja o mais crítico. Pois, muitas vezes o nível crítico das avarias, bem como o impacto que estas têm no processo produtivo é mais relevante que o número de falhas propriamente dito. Assim nestas circunstâncias, para além da análise do número de falhas é relevante fazerem-se outras análises, nomeadamente a aplicação do teste de Laplace, para análise da evolução da taxa de falhas individual, uma análise do *MTBF* ou até mesmo a aplicação do Modelo de Riscos Proporcionais.

A aplicação do teste de Laplace aos 5 laminadores de acordo com a expressão 2.17, conduziu aos resultados que constam no quadro 5.2. No anexo C.3 apresentam-se os cálculos intermédios que deram origem a estes resultados.

Quadro 5.2: Análise da Taxa de falhas dos laminadores – Teste de Laplace

<i>Laminadores</i>	z_0	<i>Taxa de Falhas</i>	<i>MTBF</i>	<i>CMTBF (dias)</i>	<i>MTTR</i>
A1	0,25	Constante	8,81	-	3,41
A2	1,96	Crescente	-	-	5,04
A3	1,01	Constante	11,16	-	3,24
A4	-1,09	Constante	3,10	-	4,72
A5	-3,02	Decrescente	-	6,40	4,23

Para um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) verifica-se que os laminadores A1, A3 e A4 seguem um processo de poisson homogéneo, dado que o valor da estatística do teste está entre -1,64 e 1,64. Pelo que do ponto de vista de evolução da taxa de falhas do sistema, significa que se está perante uma taxa de falhas constante. Deste modo, para estes laminadores o cálculo do *MTBF* foi feito recorrendo à expressão 2.2, tendo-se obtido um *MTBF* de 8,81 dias para o A1, 11,16 dias para o A3 e 3,10 dias para o laminador A4.

Com base nos resultados que constam no quadro 5.2, verifica-se que o laminador A2 apresenta uma taxa de falhas crescente ($z_0 = 1,96$), pelo que como referido anteriormente não faz sentido calcular o valor dos tempos médios entre falhas.

Analisando de forma quantitativa o quadro 5.2, rapidamente se concluiria que o laminador A2 é o mais crítico da família dos laminadores, do ponto de vista da sua função de risco. No entanto, esta análise não pode ser feita apenas com base em dados quantitativos, devendo também ser considerados os aspectos práticos. Pelo que desta

análise prática do histórico de dados se retirou as seguintes conclusões:

- A taxa de falhas crescente, do laminador A2, deve-se essencialmente a um aumento de ocorrência de avarias, num curto espaço de tempo;
- Desde 7 de Julho de 2008 até 22 de Janeiro de 2009, ocorreram cerca de 40 avarias neste laminador;
- Cerca de 55% das avarias que ocorreram neste período no laminador A2 e que são responsáveis pelo aumento do número de falhas, não é conhecido o motivo de avaria.

Analisando de forma conjunta estes factores verifica-se que num espaço de tempo de aproximadamente 6 meses e meio, ocorreram mais avarias do que no período anterior (50 avarias em cerca de 11 meses). Pelo que esta taxa de falhas crescente se deve a este facto. No entanto, é necessário identificar em termos práticos o que levou à ocorrência de elevado número de falhas. Dado que não é conhecido o motivo de avaria das mesmas, então, não será correcto analisar a hipótese de se fazer um investimento neste equipamento.

Relativamente ao laminador A5, este apresenta uma taxa de falhas decrescente ($z_0 = -3,02$), verificando-se que o número de avarias deste tende a diminuir. Dado a taxa de falhas deste laminador ser decrescente, então estas deverão ser modeladas de acordo com o modelo de Crow. Pelo que aplicando a expressão 2.28, se obteve um *CMTBF* de 6,40 dias.

Apesar de estes equipamentos apresentarem as mesmas características estruturais e funcionais, ainda assim verifica-se alguma diferença nos resultados obtidos relativamente à evolução da taxa de avarias. O que pode ser justificado tendo como fundamento factores como:

- Substituição dos rolos em momentos distintos;
- Diferentes revisões feitas ao sistema hidráulico (componente mais falhas provoca);
- Qualidade das peças sobresselentes;

- Registo de informação enviesado, entre outros.

Para além da análise dos resultados quantitativos obtidos para cada laminador, interessa também analisar estes laminadores do ponto de vista prático. Pois, dada a importância que os Rolos têm neste equipamento, a análise da sua duração média, é um factor interessante do ponto de vista prático. Pelo que se obteve os resultados que constam no quadro seguinte.

Quadro 5.3: Tempo médio de duração dos Rolos

<i>Laminadores</i>	<i>Tempo médio de duração dos Rolos (horas)</i>
<i>A1</i>	<i>11.034</i>
<i>A2</i>	<i>9.769</i>
<i>A3</i>	<i>9.882</i>
<i>A4</i>	<i>6.021</i>
<i>A5</i>	<i>7.736</i>

Com base no quadro anterior verifica-se que os Rolos do laminador A4 são aqueles que apresentam menor tempo de vida, significando que estes são substituídos mais frequentemente, implicando portanto maiores custos. Pelo que se conclui que em termos práticos o laminador A4 é o pior do conjunto.

5.4. Modelo de Riscos Proporcionais – Laminadores

Após a análise global do sistema que permitiu verificar que os laminadores são a família mais crítica de todo o sistema, é importante analisar o conjunto dos 5 laminadores, de modo a perceber qual aquele que mais influencia o comportamento da fiabilidade do conjunto. Com o objectivo de analisar quais as covariáveis significativas é feita a aplicação do *PHM* ao conjunto dos 5 laminadores recorrendo ao *SPSS*. Após a discussão que foi feita no capítulo anterior aos dados obtidos, esta aplicação do modelo de riscos proporcionais à família dos laminadores assume uma importância ainda maior em termos conclusivos. Pois deste modo, será possível identificar qual destes laminadores é realmente o mais crítico e aquele que mais contribui para o aumento da função de risco da família dos laminadores.

Para que possa ser feita a aplicação do modelo de Cox, ao caso de estudo em análise, é necessário verificar-se os seguintes pressupostos:

- i. Se as covariáveis agem de forma multiplicativa sobre o risco (parte paramétrica do modelo);
- ii. Independência entre os tempos de ocorrência;
- iii. Se razão dos riscos é constante ao longo do tempo (parte dos riscos proporcionais do modelo).

A independência entre os tempos de ocorrência pode ser verificada através da representação gráfica da ordem cronológica dos tempos de falha, a qual se encontra representada no gráfico da figura 5.5.

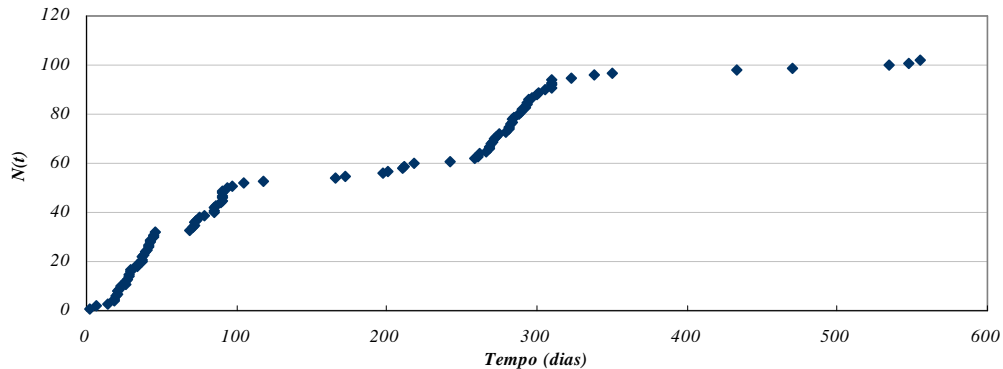


Figura 5.5: Representação dos tempos de falha do laminador A4

Pelo que através do gráfico da figura anterior se verifica que não existe qualquer dependência dos tempos de falha do laminador A4, sendo a ocorrência destes independentes uns dos outros. Verificando-se deste modo o pressuposto ii) do modelo de riscos proporcionais.

Serão consideradas como covariáveis os vários laminadores (A1, A2, A3, A4 e A4), com o objectivo de modelar o tempo médio entre falhas. Inicialmente fazem parte do sistema as cinco covariáveis, sendo que aplicando o método iterativo *Backward Wald*, estas irão sendo eliminadas do modelo ao longo das várias iterações.

No quadro 5.4 encontra-se o resumo dos vários parâmetros obtidos pelo método da máxima verosimilhança.

Quadro 5.4: Resumo do modelo de riscos proporcionais – laminadores

<i>Teste Global da Hipótese Nula: $[\beta] = 0$</i>						
<i>Critério</i>	<i>S/Covariáveis</i>	<i>C/Covariáveis</i>	<i>Qui-quadrado</i>	<i>Valor de prova</i>		
<i>-2Ln[L(β)]</i>	3983,615	3949,483	34,132	0,000		
<i>Análise da Estimativa de Máxima Verosimilhança</i>						
<i>Variável</i>	<i>g.l.</i>	<i>Estimativa do Coeficiente</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Wald Qui-quadrado</i>	<i>Valor de Prova</i>	<i>Relação de Risco</i>
<i>A1</i>	<i>1</i>	-0,217	0,227	0,915	0,339	0,805
<i>A2</i>	<i>1</i>	-0,269	0,231	1,356	0,244	0,764
<i>A3</i>	<i>1</i>	-0,354	0,246	2,079	0,149	0,702
<i>A4</i>	<i>1</i>	0,485	0,216	5,025	0,025	1,624
<i>A5</i>	<i>1</i>	-0,031	0,212	0,021	0,885	0,970

Pelo quadro anterior verifica-se que as estatísticas amostrais são diferentes, pelo que o valor de prova do modelo é inferior a 0,05, rejeitando-se deste modo H_0 para um nível de significância de 5%.

Dado que este método consiste na eliminação das covariáveis não significativas, isto é, das variáveis cujo valor de prova é superior ao nível de significância ($\alpha = 0,05$), na primeira iteração o método regressivo elimina do modelo a covariável A5, por esta apresentar o maior valor de prova (0,885), sendo por isso o menos significativo. De acordo com os resultados que constam no quadro 5.4 verifica-se que o laminador A3 é o menos crítico do ponto de vista da fiabilidade. Isto porque, é a covariável que apresenta valor de beta (estimativa do coeficiente) mais negativo.

Verificando-se através deste que todas as covariáveis apresentam valores de beta negativos, excepto o A4. Pelo que se conclui, que todos os laminadores, exceptuando o A4, apresentam funções de risco decrescentes, sendo que estas quatro covariáveis diminuem a probabilidade de ocorrência de avaria. O laminador A4 é também aquele apresenta uma maior probabilidade condicionada de falha, pois tem um valor de prova de 0,025, pelo que permite garantir um intervalo de confiança próximo dos 100%.

O quadro 5.4, dá também a indicação do factor multiplicativo da função de risco base. Pelo que se verifica que o laminador A4 aumenta em cerca de 160% a função de risco, comparativamente ao laminador A3 que diminui em cerca de 70%. Sendo estas

determinadas com base na expressão 2.36, resultando nas seguintes expressões, respectivamente.

$$h(t;A_4)=h_0(t).\exp(0,485)=h_0(t).1,624$$

$$h(t;A_3)=h_0(t).\exp(-0,354)=h_0(t).0,702$$

Pelo que se pode concluir que o laminador A4 é o pior do ponto de vista da fiabilidade e o A3, o melhor.

Aplicando a mesma metodologia, após sucessivas iterações obtêm-se os resultados que constam no quadro seguinte.

Quadro 5.5: Modelo final – laminadores

<i>Teste Global da Hipótese Nula: $[\beta] = 0$</i>						
<i>Crítério</i>	<i>S/Covariáveis</i>	<i>C/Covariáveis</i>	<i>Qui-quadrado</i>	<i>Valor de prova</i>		
<i>-2Ln[L(β)]</i>	3983,615	3954,400	29,215	0,000		
<i>Análise da Estimativa de Máxima Verosimilhança</i>						
<i>Variável</i>	<i>g.l.</i>	<i>Estimativa do Coeficiente</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Wald Qui-quadrado</i>	<i>Valor de Prova</i>	<i>Relação de Risco</i>
<i>A4</i>	<i>1</i>	0,658	0,116	32,172	0,000	1,930

Dado que a covariável A4 apresenta valor positivo para a estimativa do parâmetro, então verifica-se que esta aumenta a função de risco em aproximadamente 193%. Aumentando deste modo a probabilidade de avaria da família dos laminadores.

5.4.1. Aplicação do Método de Kaplan-Meier

A aplicação do Método de Kaplan-Meier ao histórico de dados, é um método muito útil, na medida em que permite estimar de forma não paramétrica a função de sobrevivência de um dado sistema.

Através do *software* STATISTICA, obteve-se a seguinte função acumulada de sobrevivência do conjunto dos 5 laminadores, tendo esta sido determinada através da expressão 2.16.

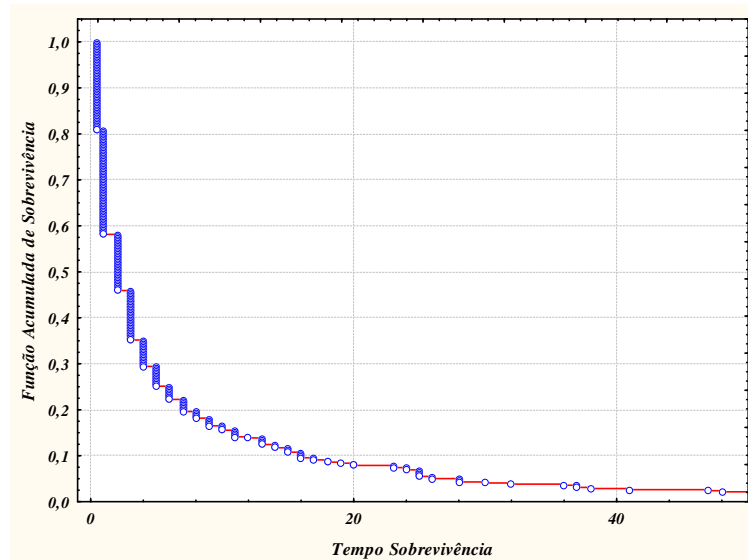


Figura 5.6: Representação da função sobrevivência – Laminadores

Pelo que se conclui que à medida que o tempo de sobrevivência vai aumentando a fiabilidade da família dos laminadores vai diminuindo. Tal já era previsto acontecer dado o envelhecimento e desgaste que o equipamento vai sofrendo ao longo do seu ciclo de vida. No entanto, o mais relevante neste gráfico é o facto da fiabilidade deste decrescer tão rapidamente num curto espaço de tempo. Confirmando deste modo, os resultados obtidos anteriormente, que de facto este é um equipamento crítico do ponto de vista da sua função fiabilidade.

Após a aplicação do método de Kaplan-Meier, à família dos 5 laminadores torna-se interessante analisar a evolução da fiabilidade de cada um individualmente, a qual se apresenta no gráfico da figura 5.7.

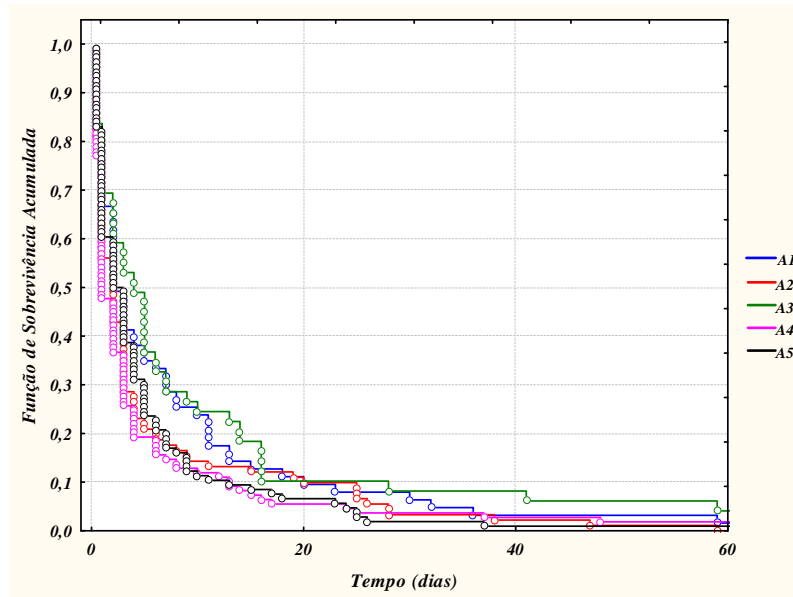


Figura 5.7: Função individual de Sobrevivência Acumulada de cada laminador

Pelo gráfico da figura anterior verifica-se que o laminador mais crítico em termos de função de fiabilidade é o A4, pois à medida que os tempos entre falhas aumentam, a função fiabilidade acumulada diminui. Pelo que visualizando o gráfico se constata que, o laminador A4 atinge uma fiabilidade de cerca de 50% ao tempo entre falhas de 2 dias, enquanto que os restantes equipamentos atingem uma fiabilidade de 50% ao fim de um maior número de tempos entre falhas.

Relativamente aos restantes laminadores pode-se afirmar que o laminador A3 é o melhor do conjunto, apresentando maiores valores de fiabilidade.

No entanto, é importante fazer-se um teste log-rank de modo a comparar se as funções fiabilidade destes são ou não, significativamente diferentes.

No sentido de confirmar os resultados obtidos pelo SPSS, aplicou-se o método de Kaplan-Meier recorrendo ao *STATISTICA* e ao teste de Wilcoxon, com o objectivo de confirmar se as funções fiabilidade destes laminadores são ou não, significativamente diferentes, tendo-se obtido o gráfico que consta na figura seguinte. Aplicando o teste log-rank do *STATISTICA* e através da expressão 2.46, obtiveram-se os resultados que constam no quadro seguinte.

Quadro 5.6: Teste log-rank – laminadores A3 e A4

Hipóteses	Estatística do teste	Valor de prova (p)
$H_0 : \hat{R}_{A3}(t) = \hat{R}_{A4}(t)$	-2,85	0,0044
$H_1 : \hat{R}_{A3}(t) \neq \hat{R}_{A4}(t)$		

Através do quadro anterior é possível concluir que, dado que o valor de prova é inferior a 5%, então rejeita-se a hipótese nula, existindo portanto diferenças significativas entre a fiabilidade dos laminadores A3 e A4. Verificando-se portanto que um dos laminadores tem uma fiabilidade superior. Pelo que o laminador A3 apresenta uma fiabilidade significativamente superior comparativamente ao laminador A4.

O método de Kaplan-Meier, também conhecido por estimador do produto-limite é um método muito útil na estimativa da função de fiabilidade, tendo-se recorrido a este para estimar a fiabilidade do laminador A4. Na figura 5.8, consta a função de fiabilidade do laminador A4, para um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), tendo em consideração uma análise dos tempos desde a última falha.

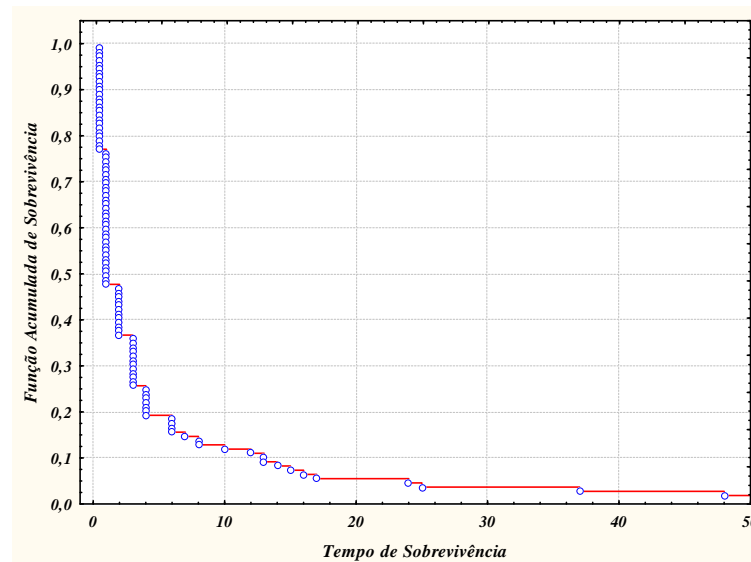


Figura 5.8: Função Acumulada de Sobrevivência

Através desta verifica-se que a fiabilidade do laminador A4 decresce muito rapidamente, chegando mesmo a atingir valores de cerca de 46% de fiabilidade, quando em intervalos de tempo desde a última falha de aproximadamente 2 dias. Pela observação do gráfico da figura 5.8, verifica-se que o comportamento da função de fiabilidade do laminador A4 se assemelha muito ao comportamento da função de fiabilidade do conjunto dos 5 laminadores (figura 5.7). O que com base nos resultados obtidos através da aplicação do modelo de riscos proporcionais, pode levar a concluir que o laminador A4 é o principal responsável pelo comportamento da função de fiabilidade do conjunto dos laminadores.

5.4.2. Validação do Modelo – Resíduos de Cox-Snell

Uma das etapas importantes do processo de modelação de uma distribuição estatística é a confirmação dos resultados obtidos. Sendo que depois do modelo ajustado ao conjunto de dados observados, é necessário proceder à sua validação para confirmação dos resultados obtidos, sendo esta baseada nos valores dos resíduos. Os resíduos são obtidos para cada observação de avaria, de modo a compreender o seu comportamento, para um correcto ajustamento do modelo. Tal como referido anteriormente, são vários os resíduos utilizados para validação do modelo, no entanto, no âmbito deste trabalho irá recorrer-se aos resíduos de Cox-Snell.

Os resíduos de Cox-Snell para o modelo ajustado encontram-se representados na figura 5.9, sendo que os resíduos observados foram obtidos através da expressão 2.49.

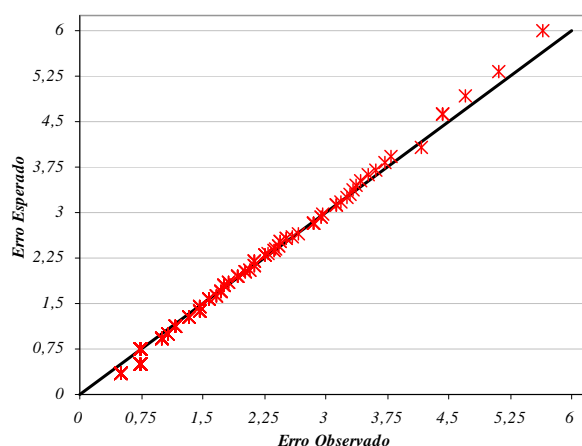


Figura 5.9: Resíduos de Cox-Snell - Laminadores

Através da representação gráfica dos resíduos de Cox-Snell, que consta na figura 5.9, verifica-se que estes seguem uma distribuição exponencial e com um parâmetro de escala unitário. Verificando-se um grande número de resíduos ao longo da recta de inclinação unitária.

Pelo que se pode afirmar que o modelo se ajusta convenientemente aos dados observados, pois, a função estimada de fiabilidade aproxima-se da função esperada de fiabilidade.

5.4.3. Previsão do número de falhas do laminador A4

A estimativa do número de falhas do laminador A4 é uma etapa importante, que permitirá não só prever o número de falhas que poderão ocorrer no futuro, como também servirá como base para a estimativa do CCV, permitindo que a estimativa deste seja feita com maior rigor.

Dado que o laminador A4 apresenta uma taxa de falhas decrescente então, segue um Processo Poisson Não Homogéneo, pelo que a estimativa do número de falhas futuras é feita pela aproximação de Ross.

Tendo como base o histórico de dados dos laminadores e dado que se pretende fazer a estimativa do número de falhas de cada ano, aquilo que se fez foi considerar os dados relativamente a um período de um ano. Pelo que este período de um ano foi subdividido em 2 semestres, com objectivo de representar o comportamento dos laminadores em cada um dos semestres dado o seu número de avarias não ser constante. Deste modo, estimou-se os parâmetros a e b do modelo de Crow segundo as expressões 2.27 e 2.26, respectivamente, para cada um dos semestres. Tendo-se obtido os resultados que constam no quadro seguinte.

Quadro 5.7: Parâmetros do modelo de Crow

<i>Parâmetros</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
<i>1º Semestre</i>	<i>1,5</i>	<i>0,02</i>
<i>2º Semestre</i>	<i>0,7</i>	<i>1,5</i>

Com o avanço da idade dos equipamentos, estes parâmetros não se irão manter constantes, pelo que tem tendência a aumentar. Neste sentido, considerou-se um aumento destes em 3% a partir do segundo ano.

Após a estimativa dos parâmetros, é simulada a idade do sistema no momento da falha T_1, T_2, \dots, T_k para cada um dos semestres, através da expressão 2.33. Sabendo que cada uma dessas idades corresponde à idade do sistema no momento em que ocorreu a avaria, então deste modo é possível estimar o número de avarias que irão ocorrer nos próximos anos. De referir que as variáveis aleatórias U_i foram obtidas recorrendo à função aleatória gerada pelo *Excel*. Tendo-se obtido para o período de tempo em análise, os resultados que constam no quadro 5.8.

Quadro 5.8: Previsão do número de falhas para o actual laminador

Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Previsão do número de falhas	79	89	116	119	118	120	130	130	130	130

5.5. Análise do CCV

Determinados nos sub capítulos anteriores alguns parâmetros necessários à estimativa dos custos e do CCV, bem como identificado o equipamento mais crítico do ponto de vista da fiabilidade, procede-se então à análise do CCV. Esta análise será feita de acordo com as etapas descritas no capítulo 2, aquando da descrição da metodologia de aplicação do CCV. De referir que a nomenclatura usada na designação dos custos não corresponde à nomenclatura mencionada em algumas das literaturas, dado ter-se proposto uma nomenclatura mais simples e intuitiva para estimativa dos custos.

5.5.1. Identificação do problema

Uma das problemáticas com que esta unidade industrial se prende é o facto de ser uma unidade fabril com cerca de 36 anos, o que implica o envelhecimento de alguns equipamentos, bem como das instalações. Como tal, é necessário investir nos equipamentos e nas instalações de modo a não permitir o envelhecimento precoce da mesma. Dada a necessidade de fazer um investimento na unidade industrial, o principal objectivo é auxiliar na tomada de decisão, quanto ao equipamento que deverá ser analisado e se é mais rentável a manutenção do actual equipamento, ou o investimento num equipamento novo.

Como tal, para dar suporte à decisão de investir, ou não num laminador novo irá aplicar-se a metodologia do CCV.

No âmbito deste estudo as alternativas a analisar são:

- i. Manutenção do actual equipamento;
- ii. Substituição por um equipamento novo.

Para uma análise mais rigorosa e eficiente, é importante identificar não só as

características do actual laminador A4, como também as características do laminador no qual se está a ponderar investir. Pelo que só faz sentido comparar as alternativas de investimento se estes apresentarem características semelhantes.

No anexo C.1 e C.2, constam as características dos laminadores em análise, respectivamente, do actual laminador e do laminador a investir.

Outra variável igualmente importante para a análise do CCV, é a identificação do tempo de análise, sendo que para tal deve ser tido em conta o tempo médio de vida útil do equipamento. No entanto, apesar do tempo médio do ciclo de vida dos laminadores ser de 30 anos, no âmbito deste estudo apenas irá ser analisado uma parte desse tempo médio do ciclo de vida, neste caso, 9 anos. Pensa-se que a análise económica do período de 9 anos seja suficiente para permitir avaliar a rentabilidade do investimento que se pretende fazer. Devendo este incluir uma visão realista do funcionamento da unidade industrial, tendo em conta factores como a utilização que se irá dar ao equipamento, o material a ser laminado, condições de manutenção, entre outros.

Dado que não é conhecido o momento exacto a ser feito o investimento, nem mesmo o tempo de entrega do equipamento, então irá ter-se em consideração um horizonte temporal designado por ano zero, ano 1 e assim sucessivamente a partir da data de investimento.

5.5.2. Estimativa dos Custos

Dado que o CCV consiste no custo total do ciclo de vida de um equipamento, este deverá levar em conta todos os custos desde o início de vida deste até ao abate do mesmo. No entanto, para efeitos deste estudo apenas serão considerados os custos mais relevantes do ciclo de vida do equipamento, também aqueles que tem um maior impacto no custo do ciclo de vida. Isto devido à dificuldade de identificação das parcelas que constituem alguns custos. Pelo que nos sub capítulos seguintes são apresentadas as estimativas dos vários custos (aquisição, operação, manutenção e não operação) que constituem o custo total do ciclo de vida dos laminadores. De referir que será feita uma estimativa destes custos para ambas as alternativas de investimento, considerando a manutenção do laminador actual e a aquisição de um novo laminador.

5.5.2.1. Estimativa dos Custos de Investimento

Dado que uma das alternativas em análise consiste em manter o actual equipamento, portanto, tal não implicará qualquer custo de investimento, pelo que este apenas será considerado para o novo laminador. De acordo com o que foi referido no capítulo 2 e tendo em consideração este caso específico, os custos de investimento que foram tidos em conta na análise destas alternativas são aqueles que constam na expressão seguinte.

$$C_{Investimento} = C_{Aquisição} + C_{Const. Civil} + C_{Inst.Mecânica} + C_{Inst.Eléct.}$$

Custos estes que se encontram discriminados no quadro seguinte.

Quadro 5.9: Custos de Investimento

<i>CUSTOS DE INVESTIMENTO (€)</i>	<i>375.933</i>
<i>Custos Aquisição (€)</i>	<i>260.933</i>
<i>Custo de Construção Civil (€)</i>	<i>35.000</i>
<i>Custo de Instalação Mecânica (€)</i>	<i>55.000</i>
<i>Custo de Instalação Eléctrica (€)</i>	<i>25.000</i>

Considerando que o custo de investimento engloba o custo do equipamento, o custo de construção civil para instalação do equipamento, o custos de instalação mecânica e de instalação eléctrica, então, prevê-se um custo de investimento de 375.933,00€ no ano zero para o laminador novo.

5.5.2.2. Estimativa dos Custos de Operação

De referir que no quadro 5.11 apenas são apresentados os custos de operação referentes aos 5 primeiros anos, no entanto nos anexos C.6 e C.7, apresentam-se os valores para os anos seguintes. O mesmo é válido para os restantes custos.

Muito embora na realidade os custos de operação sejam constituídos por diversas parcelas de custos, no entanto, para efeitos deste estudo apenas se levará em consideração os custos energéticos. Dado que os custos energéticos são aqueles que maior impacto tem

na estimativa dos custos de operação, julga-se que o facto de apenas se considerar esta parcela não irá comprometer os resultados obtidos. Deste modo, os custos energéticos podem ser estimados através da seguinte expressão.

$$C_{Operação} = C_{Energéticos} = E_{consumida} (kWh / ton) \times Q_{Produzida} (ton / ano) \times C_{Energia} (€/ kWh)$$

De salientar que os custos energéticos de ambas as alternativas apenas diferem na energia consumida, sendo que o custo de energia ($C_{Energia}$) é igual. No quadro seguinte é apresentado o consumo de energia do actual laminador e do laminador em análise de investimento.

Quadro 5.10: Consumo Energético

<i>CONSUMO ENERGÉTICO</i>	
<i>Actual Laminador</i>	<i>6 kWh/ton</i>
<i>Novo Laminador</i>	<i>5,4 kWh/ton</i>

Tendo-se obtido os custos de operação que constam no quadro seguinte.

Quadro 5.11: Custos de Operação

<i>Custos/Períodos</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Laminador Actual</i>						
<i>CUSTOS DE OPERAÇÃO (€)</i>		<i>47.250,00</i>	<i>48.667,50</i>	<i>50.127,53</i>	<i>51.631,35</i>	<i>53.180,29</i>
<i>Custos Energéticos (€)</i>		<i>47.250,00</i>	<i>48.667,50</i>	<i>50.127,53</i>	<i>51.631,35</i>	<i>53.180,29</i>
<i>Laminador Novo</i>						
<i>CUSTOS DE OPERAÇÃO (€)</i>		<i>42.954,55</i>	<i>44.243,18</i>	<i>45.570,48</i>	<i>46.937,59</i>	<i>48.345,72</i>
<i>Custos Energéticos (€)</i>		<i>42.954,55</i>	<i>44.243,18</i>	<i>45.570,48</i>	<i>46.937,59</i>	<i>48.345,72</i>

Pelo que se conclui que ao longo dos 5 anos em análise os custos de operação são sempre superiores no laminador actual, comparativamente ao novo laminador. Tal já era de esperar dado que o laminador novo é um equipamento mais avançado tecnologicamente levando em conta a poupança energética.

Com base no quadro 5.11 verifica-se que não existem custos de operação no ano zero

em ambas as alternativas. Isto acontece porque não é conhecida a data exacta do momento em que é feito o investimento, nem quando é entregue o equipamento. Sendo ainda de referir que mesmo após a entrega do equipamento, há ainda que considerar todos os processos subjacentes à sua instalação na unidade industrial, o que em alguns casos leva meses até o equipamento estar disponível para funcionar. Deste modo, dada a incerteza relativa ao início de funcionamento dos equipamentos, considera-se para efeitos deste estudo que no ano zero não estão associados qualquer tipo de custos. Ainda que em termos práticos muitas vezes não aconteça, por exemplo, quando o investimento é feito no início do ano e o equipamento inicie o seu funcionamento a meio do ano. Neste caso irá existir custos de aquisição, custos de operação, manutenção e não operação nos restantes meses desse mesmo ano.

5.5.2.3. Estimativa dos Custos de Manutenção

Para efeitos do presente estudo, considerou-se que os custos de manutenção eram essencialmente custos de reparações de avarias, custos de rectificação dos rolos dos laminadores e custos de substituição dos rolos, sendo estimados a partir da seguinte expressão.

$$C_{\text{Manutenção}} = C_{\text{Reparação}} + C_{\text{Rectificação}} + C_{\text{Sibst.Rolos}}$$

A estimativa dos custos de reparação, tem como base o custo médio de reparação do laminador e o número de falhas deste, sendo obtidos através da seguinte expressão.

$$C_{\text{Reparação}} = \bar{C}_{\text{Rep.}} \times n_f$$

Onde $\bar{C}_{\text{Rep.}}$ corresponde ao custo médio por cada reparação e n_f ao número de falhas que ocorreram. A dificuldade subjacente à estimativa dos custos de reparação reside fundamentalmente na estimativa do número de falhas. Relativamente ao laminador actual, são conhecidos os números da falhas que ocorreram nos últimos dois anos, pelo que através da previsão de ocorrência de falhas segundo Ross, estimada no capítulo 2, é possível prever o número de falhas deste equipamento para os próximos anos.

Quanto ao laminador novo, prevê-se um *MTBF* de 900h, o que corresponde em 332

dias de laboração a 9 falhas/ano. No entanto, de notar que embora este seja um equipamento novo e apresente um número de falhas constante ao longo dos quatro primeiros anos, prevê-se que a partir do quinto ano, o número de falhas tenha um crescimento de 2%/ano. Prevendo-se assim, a ocorrência em média de 10 falhas por ano até ao fim do período em análise. Dado que este apresenta uma taxa de falhas constante e um número médio de 9 falhas por ano, torna-se interessante determinar a probabilidade de ocorrência de mais de 9 falhas num ano, recorrendo ao processo de Poisson. Pelo que com base na expressão 2.19, se concluiu que com uma fiabilidade de 60% se tem um número de falhas/ano inferior ou igual a 9. Verifica-se que este resultado não só é válido do ponto de vista teórico, como também se poderá verificar do ponto de vista prático.

$$P(X \leq 9) = F(x) = \frac{e^{-9}9^0}{0!} + \frac{e^{-9}9^1}{1!} + \frac{e^{-9}9^2}{2!} + \dots + \frac{e^{-9}9^9}{9!} = 0,587$$

$$P(X > 9) = 1 - P(X \leq 9) = 1 - 0,587 = 0,413$$

A estimativa do custo de rectificação dos rolos é feita com base na previsão do tempo médio de rectificação dos rolos, no número de rectificações feitas por ano e no custo por rectificação. Sendo a estimativa do custo de rectificação dos rolos dado por.

$$C_{\text{Rectificação}} = (\bar{T}_{\text{Rect.}} \times n_{\text{Rect.}}) \times C_{\text{Rect.}}$$

Sendo, $\bar{T}_{\text{rect.}}$ o tempo médio de rectificação, $n_{\text{rect.}}$ o número de rectificações por ano e $C_{\text{rect.}}$ o custo de cada rectificação. Relativamente ao número de rectificações anuais dos rolos, verifica-se que quer o laminador actual, como o laminador novo requerem apenas duas rectificações anuais. Sendo que a principal diferença entre o custo de rectificação destes, se deve ao facto do tempo de rectificação do actual laminador (72h) ser relativamente superior ao tempo de rectificação dos rolos do laminador novo (36h).

Por último e não menos importante, os custos de substituição dos rolos que são estimados tendo em conta o número de substituições anuais e o custo de substituição. Tendo estes sido determinados através da expressão seguinte.

$$C_{Subst.Rolos} = C_{Subst.} \times n_{Subst.}$$

Onde, o custo de cada substituição é dado por $C_{Subst.}$ e o número de substituições dos rolos por $n_{Subst.}$. Neste caso, a principal diferença entre o laminador actual e o novo, reside não só no número de substituições, como também no custo de cada reparação. Evidentemente que o número de substituições é superior no laminador actual, aproximadamente 2 por ano (valor obtido por excesso), pois a este está subjacente um maior desgaste. Enquanto que no laminador novo, do ponto de vista quantitativo prevê-se um número de 0,16 substituições, pelo que do ponto de vista prático, não faz sentido fazer nenhuma substituição nos rolos nos primeiros anos de vida do laminador novo.

No quadro seguinte podem ser visualizados os custos gerais da manutenção, os quais se encontram descritos com maior pormenor nos anexos C.6 e C.7, para o actual laminador e para o laminador novo, respectivamente.

Quadro 5.12: Custos de Manutenção

<i>Custos/Períodos</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Laminador Actual</i>						
<i>CUSTOS DE MANUTENÇÃO (€)</i>		74.255,00	76.961,32	80.833,98	83.209,83	85.390,73
<i>Custo das Reparações (€)</i>		5.135,00	7.785,00	7.540,00	7.735,00	7.670,00
<i>Custo de Rectificação de Rolos (€)</i>		1.728,00	1.762,56	1.797,81	1.833,77	1.870,44
<i>Custo de Substituição de Rolos (€)</i>		67.392,00	69.413,76	71.496,17	73.641,06	75.850,29
<i>Laminador Novo</i>						
<i>CUSTOS DE MANUTENÇÃO (€)</i>		15.320,62	15.909,80	16.578,34	17.337,48	18.205,72
<i>Custo das Reparações (€)</i>		1.770,67	1.823,79	1.934,86	2.114,27	2.379,63
<i>Custo de Rectificação de Rolos (€)</i>		492,52	502,37	512,42	522,67	533,12
<i>Custo de Substituição de Rolos (€)</i>		13.057,43	13.583,64	14.131,06	14.700,54	15.292,97

Com base no quadro anterior verifica-se que não existem custos de manutenção no ano zero (0), ano corrente. Tal só acontece porque caso se opte pelo laminador novo, este já não chega às instalações da empresa no ano corrente, mas sim no ano 1. Pelo que deste modo, não implica custos de manutenção, não fazendo sentido o cálculo dos custos de manutenção do actual laminador. No entanto, é de referir que em situações de aquisição de equipamentos novos, se estes forem instalados e postos a trabalhar na unidade industrial

antes do término do ano zero, irá implicar custos de operação, manutenção e não operação, ainda que estes não sejam muito significativos.

5.5.2.4. Estimativa dos Custos de não Operação

Os custos de não operação foram estimados através da seguinte expressão.

$$C_{\text{Não Operação}} = [(\bar{T}_{\text{Rep.}} + \bar{T}_{\text{Rect.}} + T_{\text{Subst.}}) \times Q] \times C_{\text{Não Produção}}$$

Sendo, $\bar{T}_{\text{Rep.}}$ o tempo de reparação,

$\bar{T}_{\text{Rect.}}$, tempo de rectificação dos rolos

$T_{\text{Subst.}}$, tempo de substituição dos rolos

Q , quantidade produzida/dia

$C_{\text{Não Produção}}$, custo de não produção

De referir que consoante o equipamento/sistema a analisar, assim os parâmetros a ter em conta na estimativa dos vários custos. Deste modo, os custos de não operação estimados para ambas alternativas constam no quadro 5.13.

Quadro 5.13: Custos de não Operação

<i>Custos/Períodos</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Laminador Actual</i>						
<i>CUSTOS DE NÃO OPERAÇÃO (€)</i>		48.997,37	53.051,49	63.506,92	64.931,71	64,853,54
<i>Laminador Novo</i>						
<i>CUSTOS DE NÃO OPERAÇÃO (€)</i>		5.849,19	5.959,04	6.071,02	6.185,17	6.301,53

Através do quadro anterior verifica-se uma diferença muito significativa entre os custos de não operação do actual laminador e do novo laminador. Tal já era de esperar, na medida em que o número de avarias do laminador actual é muito superior ao número de avarias de um laminador novo, o que por si só implica uma maior percentagem de tempo de não produção.

5.5.2.5. Estimativa do CCV

Após a consulta das várias literaturas existentes na área, verifica-se que a estimativa do CCV deve ser feita tendo em consideração o objecto de estudo, a informação disponível, entre outros. Neste sentido, a estimativa do CCV das alternativas em análise, teve como ponto de partida a expressão 2.52, acrescentando-lhe outras parcelas de custos que se consideram relevantes para esta análise. De referir que este modelo do custo do ciclo de vida foi uma metodologia desenvolvida para uma análise específica do CCV a equipamentos da indústria de extracção de oleaginosas. No entanto, o mesmo também pode ser aplicado a outras situações, sendo para isso necessário apenas alguns ajustes à situação em particular.

Os valores do CCV obtido no quadro 5.14, foram obtidos através da aplicação da expressão abaixo, aos custos estimados anteriormente.

$$CCV = C_{Aquisição} + C_{Operação} + C_{Manutenção} + C_{NãoOperação}$$

Quadro 5.14: Estimativa do CCV

<i>Custos/Períodos</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Laminador Actual</i>						
<i>Custos de Operação (€)</i>		47.250,00	48.667,50	50.127,53	51.631,35	53.180,29
<i>Custos de Manutenção (€)</i>		74.255,00	76.961,32	80.833,98	83.209,83	85.390,73
<i>Custos de Não Operação (€)</i>		48.997,37	53.051,49	63.506,92	64.931,71	64.853,54
<i>CCV</i>		170.502,37	178.680,31	194.468,43	199.772,89	203.424,56
<i>Laminador Novo</i>						
<i>Custos de Aquisição (€)</i>	375.933,00					
<i>Custos de Operação (€)</i>		42.954,55	44.243,18	45.570,48	46.937,59	48.345,72
<i>Custos de Manutenção (€)</i>		15.320,61	15.909,80	16.578,34	17.337,48	18.205,72
<i>Custos de Não Operação (€)</i>		5.849,19	5.959,04	6.071,02	6.185,17	6.301,53
<i>CCV</i>	375.933,00	64.124,35	66.112,02	68.219,84	70.460,24	72.852,97

Com base na análise do quadro 5.14, verifica-se que para o laminador actual os custos de manutenção e de não produção são aqueles que mais impacto tem na estimativa do custo total do ciclo de vida. Relativamente ao laminador novo, verifica-se que os custos que mais impacto tem são os custos de manutenção e de operação (custos energéticos). Normalmente, e tal como referido no capítulo 2, os custos que maior impacto tem no CCV

são os custos energéticos e de manutenção. No entanto, no caso do actual laminador o número de paragens é de tal modo elevado que conduz a elevados custos de não operação, isto é, de não produção.

5.5.3. Análise financeira

Muito embora uma análise financeira deva ter em conta os indicadores referidos no capítulo 2, no entanto, dado que o âmbito deste trabalho é a aplicação da metodologia do CCV, apenas irá ser aplicado o VAL. Pois, segundo a metodologia do CCV, as alternativas de investimento são avaliadas apenas com base do custo total do seu ciclo de vida, não tendo por isso em conta o lucro de cada uma das alternativas. Pelo que será aplicado o VAL para uma actualização dos custos futuros para o momento presente.

Em algumas situações, esta metodologia pode até ser limitada quanto à sua aplicação, dado não ter em consideração as receitas provenientes das alternativas de investimento. No entanto, no caso de estudo em análise revela-se uma mais valia na medida em que o conhecimento das receitas resultantes da manutenção do actual laminador, ou da aquisição de um laminador novo são difíceis de quantificar.

5.5.3.1. Estimativa da Taxa de Actualização

Antes da estimativa do VAL, é necessário estimar a taxa de actualização que irá actualizar o valor do CCV estimado, para um valor presente. Esta taxa de actualização pode ser estimada segundo a expressão 2.53. De referir que a aplicação desta expressão pressupõe o conhecimento prévio das taxas nela envolvidas, como a taxa de remuneração desejada, a taxa de risco e a taxa de inflação. Dado que estas variam consoante diversos factores económicos do País, neste sentido a taxa de actualização será estimada de acordo com dois cenários. Tal análise de sensibilidade faz sentido, dada a instabilidade económica com que o País se confronta actualmente.

Portanto, para efeitos deste estudo assumiu-se:

- Taxa de Remuneração Desejada (T_1): Esta taxa corresponde à remuneração

desejada para os capitais próprios, utilizando-se normalmente a taxa de remuneração real de activos sem risco. Pelo que tendo em consideração os objectivos da empresa se assumiu para efeitos desta análise, uma taxa de remuneração desejada de 4% para um cenário 1 e para um cenário 2 uma taxa de 5%.

➤ Taxa de Risco (T_2): Dado que a empresa em análise tem um *know-how* relativamente grande nesta área e que qualquer uma das opções de investimento vai potenciar os lucros, admite-se para efeitos deste estudo uma taxa de risco de 4% num cenário 2. Num cenário 1, torna-se interessante considerar a possibilidade de este ser um investimento mais arriscado e daí o recurso a uma taxa de risco de 8%.

➤ Taxa de Inflação (T_3): Dada a dificuldade em prever a evolução da taxa de inflação, torna-se interessante considerar duas taxas de inflação distintas nos dois cenários. Portanto, no cenário 1 será considerada uma taxa de 2%, onde a taxa de variação do índice de preços é maior, comparativamente a um cenário 2 em que se admite uma taxa de inflação de 0,5%.

De referir que para efeitos deste estudo se considerou que estas taxas são constantes ao longo do período em análise. Assumindo as taxas referidas anteriormente, de acordo com o cenário 1, a taxa de actualização obtida através da expressão 2.53, é de 14,6%, e de acordo com o cenário 2, é de 9,7%. As quais são apresentadas de um modo resumido no quadro 5.15.

Quadro 5.15: Estimativa da taxa de actualização

<i>Taxas/Cenários</i>	<i>Cenário 1</i>	<i>Cenário 2</i>
<i>Taxa de Remuneração desejada</i>	4%	5%
<i>Taxa de Risco</i>	8%	4%
<i>Taxa de Inflação</i>	2%	0,5%
<i>Taxa de Actualização</i>	14,6%	9,7%

5.5.3.2. Actualização do CCV para um valor presente

Dado que se considerou dois cenários na estimativa da taxa de actualização, interessa

agora actualizar os custos do horizonte temporal em análise, para um valor presente. Isto tendo em consideração as duas taxas de actualização estimadas. Determinando o VAL de cada CCV com base na expressão 2.56, obtiveram-se os resultados que constam no quadro seguinte.

Quadro 5.16: Análise Financeira

<i>Períodos</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Laminador Actual</i>						
<i>CCV</i>		<i>170.502,37</i>	<i>178.680,31</i>	<i>194.468,43</i>	<i>199.772,89</i>	<i>203.424,57</i>
<i>VAL (9,7%)</i>		<i>155.426,05</i>	<i>303.904,50</i>	<i>451.213,48</i>	<i>589.159,77</i>	<i>717.207,03</i>
<i>VAL (14,6%)</i>		<i>148.780,43</i>	<i>284.833,22</i>	<i>414.042,96</i>	<i>529.866,83</i>	<i>632.782,22</i>
<i>Laminador Novo</i>						
<i>CCV</i>	<i>375.933,00</i>	<i>64.124,35</i>	<i>66.112,02</i>	<i>68.219,84</i>	<i>70.460,24</i>	<i>72.852,98</i>
<i>VAL (9,7%)</i>	<i>342.691,89</i>	<i>395.977,47</i>	<i>446.057,03</i>	<i>493.163,89</i>	<i>537.515,67</i>	<i>579.318,68</i>
<i>VAL (14,6%)</i>	<i>328.039,27</i>	<i>376.865,55</i>	<i>420.792,05</i>	<i>460.344,40</i>	<i>495.991,24</i>	<i>528.152,98</i>
<u>DECISÃO</u>	<i>Laminador Actual</i>	<i>Laminador Actual</i>	<i>Laminador Actual</i>	<i>Laminador Actual</i>	<i>Laminador Novo</i>	<i>Laminador Novo</i>

Através do quadro 5.16, é possível concluir que quer se esteja perante o cenário 1 ou 2, deverá optar-se por investir num laminador novo.

Isto porque apesar de nos 3 primeiros anos após o investimento, o investimento num laminador novo ter custos maiores face à manutenção do actual laminador, tal situação é invertida a partir do quarto ano, em ambos os cenários. Sendo que, considerando o envelhecimento do actual laminador e seus componentes é de prever que o custo do ciclo de vida deste tende a aumentar em grande proporção. Apesar de não constar no quadro 5.16, a partir do sexto ano, verifica-se um crescimento dos custos ao longo do período em análise, os quais podem ser visualizados no anexo C.8.

Estas conclusões podem ser mais facilmente interpretáveis pela observação do gráfico da figura 5.10, relativamente ao cenário 1 e no gráfico da figura 5.11 para o cenário 2.

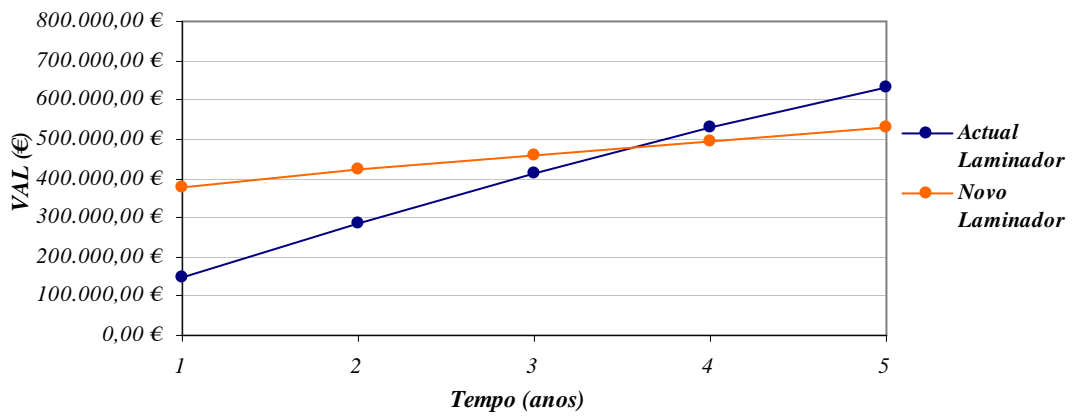


Figura 5.10: Atualização de custos – Cenário 1

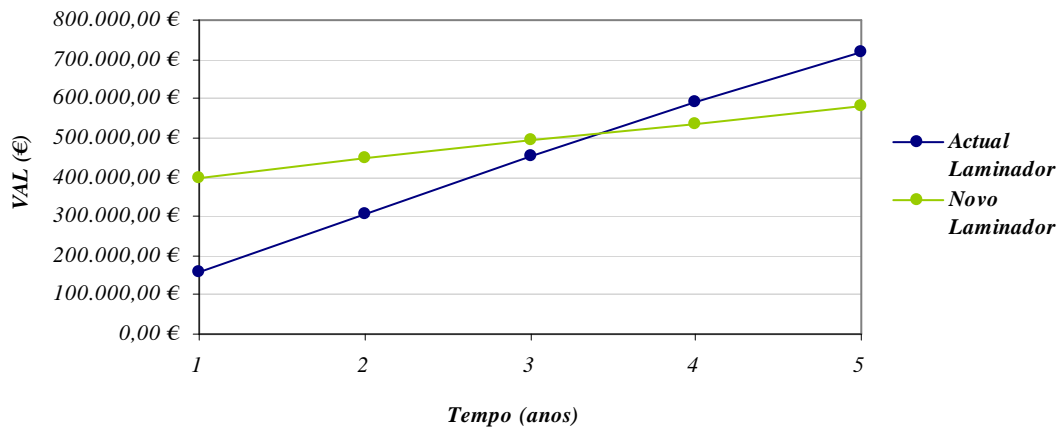


Figura 5.11: Atualização de custos – Cenário 2

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

- 1. Conclusões gerais**
- 2. Recomendações**
- 3. Sugestões para trabalhos futuros**

6.1. Conclusões gerais

Através da presente dissertação foi possível demonstrar a importância que tem a aplicação integrada dos conceitos de manutenção industrial, fiabilidade e custo do ciclo de vida, como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Apesar desta metodologia ter sido aplicada no âmbito de uma unidade industrial, esta também pode ser aplicada para análise de outros sistemas como por exemplo: análise de uma rede de transportes, de uma rede de distribuição eléctrica, entre outros.

No âmbito do principal objectivo deste trabalho, desenvolver uma metodologia de apoio à tomada de decisão relativamente à Manutenção Industrial, concluiu-se que a metodologia desenvolvida e aplicada é uma mais valia na medida em que integra conceitos que se complementam como o caso da manutenção industrial, da fiabilidade e do custo do ciclo de vida. Tendo-se verificado que a estimativa do custo do ciclo de vida, tendo como base o modelo de riscos proporcionais e o método de Kaplan-Meier, é muito mais rigoroso e objectivo pois leva em consideração os resultados obtidos aquando da aplicação destes dois métodos.

Dada a complexidade do sistema reparável (unidade industrial) em estudo, concluiu-se que a aplicação desta metodologia se revela uma mais valia, na medida em que permite não só modelar os dados mesmo sem conhecer a distribuição que estes seguem, como também independentemente destes serem ou não dados censurados.

Para além disto, verificou-se também que a análise de fiabilidade feita às 24 famílias de equipamentos, permite não só avaliar o estado actual dos equipamentos mas também prever como irá evoluir o comportamento destes em termos da sua fiabilidade. Pelo que é uma ferramenta muito útil, pois prevendo antecipadamente o comportamento destes é possível implementar medidas e actuar no sentido de desenvolver planos de manutenção preventiva.

Uma das conclusões que deste trabalho se pode tirar, é que a análise do grau de criticidade dos equipamentos nunca deve ser feita apenas com base no número de falhas. Mas sim, tendo em consideração outros factores como o tempo médio de reparação, o seu impacto no processo produtivo, entre outros.

Com base na aplicação do Índice Crítico de falha que corresponde ao tempo total de paragem de cada família de equipamentos, verificou-se que os equipamentos mais críticos ao nível do tempo de paragem são os laminadores, os expanders, os transportadores de corrente, os ventiladores e os moinhos martelo. Pelo que através da análise dos indicadores de manutenção destes cinco equipamentos se concluiu que:

➤ Deve ser tido em conta na análise dos equipamentos, os resultados de todos os indicadores da manutenção e não somente de alguns. Pois, na análise destas cinco famílias de equipamentos verificou-se que os laminadores era a única família com taxa de falhas decrescente, não requerendo especial atenção. No entanto, a situação é invertida aquando do cálculo do *CMTBF*, obtendo-se um valor de aproximadamente dois dias. Pelo é um valor do ponto de vista prático algo crítico.

➤ Apesar dos laminadores serem a família de equipamentos mais críticos, os expanders também requerem especial atenção dado o seu elevado índice crítico de falha. E também pelo facto da sua taxa de falhas estar com uma tendência crescente.

Portanto, a aplicação da metodologia proposta centrou-se no conjunto dos 5 laminadores. Pelo que analisando o conjunto dos cinco laminadores se verificou que o Sistema Hidráulico é o componente que mais contribui para o aumento da função de risco do conjunto dos laminadores. Pelo que este componente requer a especial atenção da equipa de manutenção da empresa.

Ao longo da realização deste trabalho concluiu-se que as decisões tomadas ao nível da

manutenção, não devem ser tomadas tendo em conta unicamente resultados quantitativos obtidos nos indicadores de desempenho da manutenção, mas sim aliando todos esses resultados a uma análise prática dos dados. Pois, como o próprio nome indica, são apenas indicadores, não querendo com isso dizer que tenham de ser determinantes na tomada de decisão.

Portanto, aquando da análise individual do laminador A2, apesar deste apresentar uma taxa de falhas crescente, se em termos práticos não existir fundamento para um eventual investimento nesse laminador, tal não deverá ser feito.

De acordo com a análise dos indicadores da manutenção, ao conjunto dos laminadores, verificou-se que de facto o laminador A4 é o mais crítico do ponto de vista da fiabilidade. Pois, apesar de apresentar uma taxa de falhas constante, tem um tempo médio entre falhas de cerca de 3 dias. Tais resultados se confirmam aquando da aplicação do modelo de riscos proporcionais, tendo se verificado que este laminador contribuía em cerca de 160% para o aumento da função de risco do conjunto dos laminadores.

A aplicação do método de Kaplan-Meier como complemento à análise feita através da aplicação do modelo de riscos proporcionais, permitiu concluir que o laminador A4 era aquele que apresentava menor função de fiabilidade e que o melhor dos laminadores é o A3.

No que respeita à estimativa do *CCV* das duas alternativas de investimento, concluiu-se que esta é uma metodologia importante no apoio à tomada de decisão na manutenção industrial. Pois, de um modo relativamente simples e de fácil aplicação é possível prever os custos de ambas as alternativas e optar pela alternativa mais interessante, mediante os objectivos da empresa. Pelo que a estimativa do *CCV* se tornou ainda mais interessante considerando duas taxas de actualização, mediante a simulação de dois cenários. A aplicação da metodologia do *CCV* ao laminador A4, permitiu de entre outras, retirar as seguintes conclusões:

➤ De acordo com as várias parcelas de custos consideradas, verifica-se que de facto para o período em análise (9 anos), os custos de manutenção do actual laminador são aqueles que maior impacto tem no custo total do ciclo de vida deste. Tal já era de esperar devido ao tempo de vida do actual laminador (aproximadamente 30 anos);

➤ Com a simulação dos cenários 1 e 2, concluiu-se que mesmo utilizando taxas de actualização diferentes, ainda que um dos cenários seja mais vantajoso que outro, em ambos, os custos de manter o actual laminador são superiores aos de investir num novo a partir do quarto ano. Pelo que se conclui que, de acordo com os objectivos da empresa o mais rentável é investir num novo laminador.

Esta metodologia aplicada ao sistema global, também poderia ter sido aplicada à família dos laminadores, aplicando posteriormente o modelo de riscos proporcionais e o método de Kaplan-Meier aos componentes que constituem os laminadores. No entanto, tal não foi possível, dada a dificuldade em agrupar as várias avarias dos laminadores devido ao facto de o registo das mesmas não ser feito de uma forma uniforme. Isto é, em alguns casos no histórico de dados verifica-se que uma mesma avaria é designada de modo diferente, dificultando deste modo a sua análise.

6.2. Recomendações

De acordo com a análise efectuada conclui-se que os laminadores são a família de equipamentos mais crítica devido ao impacto que o Sistema Hidráulico tem na função de risco dos laminadores. Ainda que se tenha chegado à conclusão que investir num novo laminador é mais rentável do que manter o actual laminador, considerando um período de análise de 9 anos, recomenda-se para os restantes laminadores que se tenha especial atenção com os macacos hidráulicos. De salientar que o grande número de avarias subjacentes a este órgão, é devido ao macaco hidráulico se partir.

De referir a dificuldade ao longo deste trabalho na identificação do motivo das avarias, devido ao facto de não existir uma forma uniformizada de registo das avarias. Isto é, no histórico de dados muitas vezes o mesmo motivo de avaria era registado de acordo com designações diferentes. Dificultando não só a sua posterior análise, como também podendo mesmo inferir a erro quanto à sua análise. Deste modo, dada a importância do registo do motivo da avaria, recomenda-se que este seja feito de acordo com um modelo padronizado. Com base no conhecimento prático das avarias que mais ocorrem com mais frequência, poderá mesmo elaborar-se uma *checklist*, permitindo um registo mais rápido e uniforme.

Sendo que sempre que ocorra uma avaria que não conste na *checklist* se sugere que esta seja descrita neste mesmo documento.

6.3. Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se para trabalhos futuros na área, o desenvolvimento de uma metodologia que permita analisar o impacto das famílias de equipamentos no processo produtivo. Isto é no caso de unidades industriais onde existam equipamentos que trabalhem em série e outros em paralelo, torna-se interessante analisar o impacto de cada um no processo produtivo, do ponto de vista da fiabilidade. Pois, muitas vezes tende-se a analisar os equipamentos apenas do ponto de vista do número de avarias e do seu tempo total de paragem, pelo que é também importante ter em consideração o impacto que as avarias destes tem ao nível do processo produtivo. Assim como neste trabalho se tomou como referência na análise global do sistema o número de falhas e o tempo médio de paragem de cada família de equipamentos, sugere-se que no futuro sejam tidos em conta não só estes parâmetros como também um outro parâmetro relativo ao impacto no processo de produção. Como por exemplo, a capacidade de cada equipamento, a quantidade produzida e se trabalha em série ou em paralelo.

BIBLIOGRAFIA

- ASCHER, H. e FEINGOLD, H. (1984). *Repairable system reliability, modeling, inference, misconceptions and their causes*. Marcel Dekker, New York.
- BAPTISTA, L. M. L. (2007). *RAMS Aplicado a Sistemas Reparáveis – Extração de Oleaginosas*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- CABRAL, J. S. (1998). *Organização e gestão da manutenção: dos conceitos à prática*. Lidel Edições Técnicas. Lisboa.
- COGAN, S. (1999). *Custos e Preços: formação e análise*. Pioneira Thomson Learning. São Paulo, Brasil.
- COSTA, J. A. M. (2001). Uma abordagem ao diagnóstico do estado da manutenção em empresas industriais. Tese de Mestrado apresentada na Faculdade de Engenharia, Faculdade do Porto, Porto.
- COX, D. R. (1972). *Regression Models and Life Tables*. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), Vol. 34, pp.187-220.
- DHILLON, B. S. (1989). *Life Cycle Costing*. Gordon and Breach Science Publishers.
- DIAS, J. M., REQUEIJO, J. G., LEAL, R. P., PEREIRA, Z. L.(1997). *Optimização do Período de Substituição Preventiva de Componentes em Função dos Custos*. 8º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, Cusco. pp 2.
- DIAS, J. A. M. (2002). *Fiabilidade em redes de distribuição de energia eléctrica*. Lisboa: Tese de Doutoramento apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

- DIAS, J. M. R. (2003). *A Gestão da Manutenção em Portugal*. Tese de Mestrado em Gestão e Estratégia Industrial apresentada no Instituto Superior de Economia e Gestão. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- FABRYCKY, W. J. e BLANCHARD, B. S. (1991). *Life-cycle cost and economic analysis*. 2nd Edition. Prentice Hall: United States.
- FERREIRA, L. A. (1998). *Uma Introdução à Manutenção*. Publindústria, Edições Técnicas: Porto.
- FULLER, S. K. e PETERSEN, S. R. (1996). *Life-Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program*. U.S. Department of Commerce.
- IRESON, W. G., COOMBS, C. F., MOSS, R. Y. (1996). *Handbook of reliability engineering and management*. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.
- KALBFLEISCH, J. D. e PRENTICE, R. L. (1980), *The Statistical Analysis of Failure Time Data*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- KAPLAN, E. L. e MEIER, P. (1958). *Nonparametric estimation from incomplete observations*. Journal of the American Statistical Association, Vol.53. No.2, pp.457-481.
- KAWAUCHI, Y. e RAUSAND, M. (1999). *Life Cycle Cost (LCC) analysis in oil and chemical process industries*. Acedido a 9 de Agosto de 2009, disponível na internet em <<http://www.ntnu.no/ross/reports/lcc.pdf>>
- KEOLEIAN, G. A. et al. (1994). *Product Life Cycle Assessment to reduce health risks and environmental impacts*. Noyes Data Corporation, United States of America.
- LEITÃO, A. L. F. (1989). *Proportional Hazards methods in industrial reliability and maintenance*. Birmingham: Ph. D. thesis – University of Birmingham.

- LOPES, K. (2008). *Avaliação da etapa de clarificação do óleo de soja através de planejamento composto central e investigação do potencial de melhoria energética no processamento da soja*. Tese de Mestrado em Engenharia de Processos térmicos e químicos. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MARQUES, S. G., BAPTISTA, L. L., DIAS, J. M. (2009). *O Custo do Ciclo de Vida numa perspectiva de Manutenção Industrial*. Actas do 10º Congresso Nacional de Manutenção, 19 e 20 Novembro de 2009 – Centro de Artes e Espectáculos da Figueira da Foz, Portugal.
- MÁRQUEZ, A. C. (2007). *The Maintenance Management Framework: models and methods for complex systems maintenance*. Springer Science, London.
- MIRSHAWKA, V. (1991). *Manutenção Preditiva: Caminho para zero defeitos*. McGraw-Hill. São Paulo.
- PEREIRA, F. J. D. (1996). *Modelos de Fiabilidade em Equipamentos Mecânicos*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- PINTO, C. (1999). *Organização e Gestão da Manutenção*. 1ª Edição, Editora Monitor, Lisboa.
- ROSS, S. M. (1983). *Stochastic Processes*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- SMITH, D. J. (2005). *Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers*. 7th Edition. Elsevier, Oxford.
- STEWART, R. D. (1991). *Cost Estimating*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- THOMAS, G. C. (2003). *Análise teórico-experimental de extração de óleo de soja em instalação industrial do tipo Rotocell*. Tese de Doutorado apresentada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

TOBIAS, P. A. e TRINDADE, D. C. (1998). *Applied Reliability*, 2nd Ed., Chapman & Hall, London.

ZUNIDO, A. e MAGALHÃES, G. V. (2006). *Análise Financeira de Projectos de Software (VAL, TIR e PRI)*. Acedido a 8 de Agosto de 2009, disponível na internet em <<http://www.deei.fct.ualg.pt/~a14073/licenciatura+informatica/engenharia+de+software>>

ANEXOS

ANEXO A: Processo de Extração de Oleaginosas

- A.1: Fluxograma do Processo Produtivo
- A.2: Actuais Laminadores

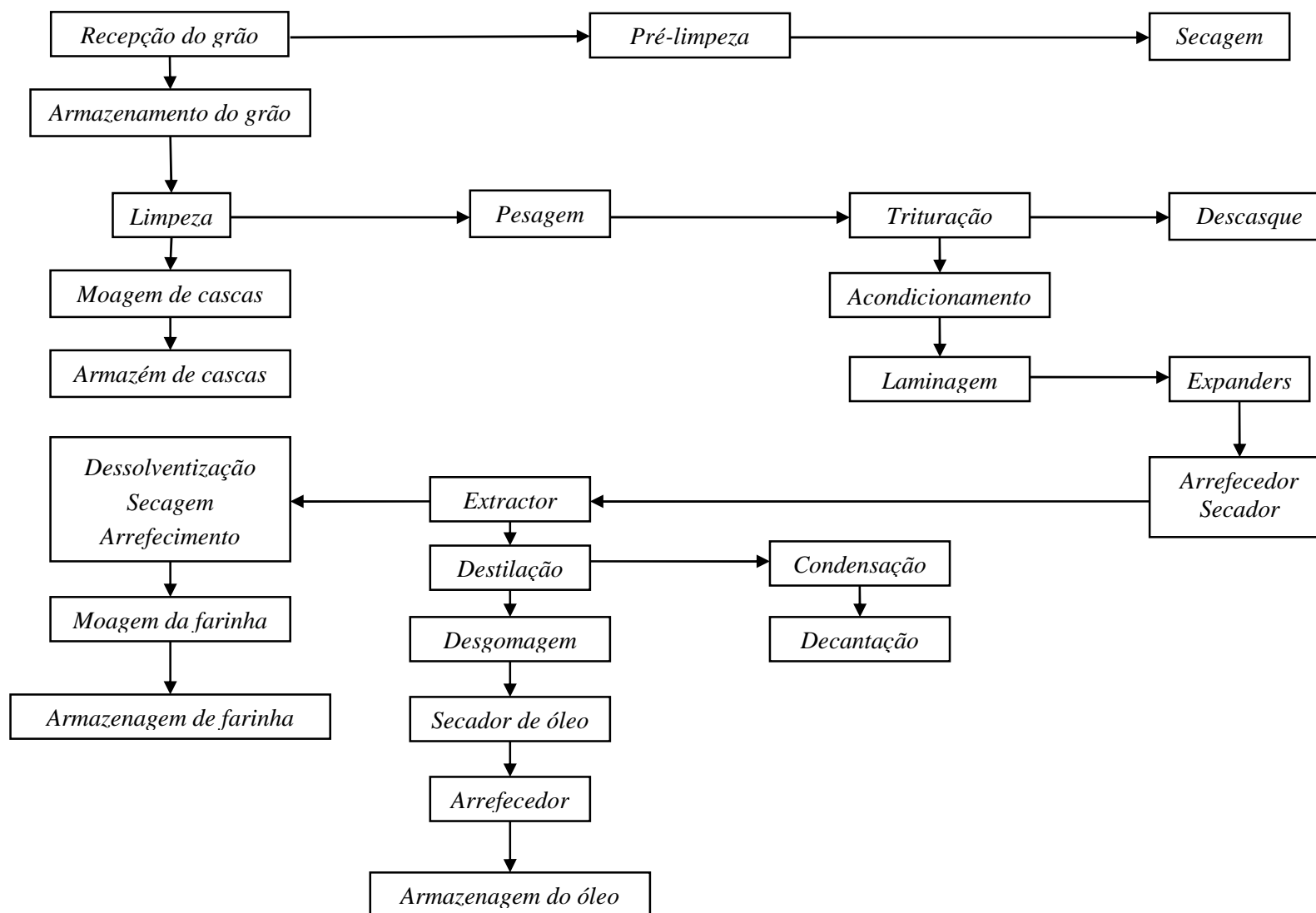
ANEXO B: Análise Estatística do Sistema Global

- B.1: Equipamentos agrupados por famílias
- B.2: Índice Crítico de Falha
- B.3: Teste de Laplace do conjunto dos laminadores
- B.4: Teste de Laplace do conjunto dos expanders
- B.5: Teste de Laplace do conjunto dos Transportadores de Corrente
- B.6: Teste de Laplace do conjunto dos Moinhos Martelo
- B.7: Teste de Laplace do conjunto dos Ventiladores

ANEXO C: Análise Estatística e do CCV - Laminadores

- C.1: Características Técnicas do Actual Laminador
- C.2: Características Técnicas do Laminador Novo
- C.3: Teste de Laplace de cada laminador individualmente
- C.4: Laminador A4
- C.5: Decomposição dos Componentes dos Laminadores em órgãos
- C.6: Quadro dos custos do Actual Laminador
- C.7: Quadro dos custos do Novo Laminador
- C.8: Quadro dos VAL's obtidos para os dois cenários

ANEXO A – PROCESSO DE EXTRACÇÃO DE OLEAGINOSAS



ANEXO A.1: Fluxograma do Processo Produtivo

ANEXO A.2: Actuais Laminadores



ANEXO B

ANÁLISE ESTATÍSTICA DO SISTEMA GLOBAL

ANEXO B.1: Equipamentos agrupados por famílias

<i>Famílias de Equipamentos</i>	<i>Equipamentos</i>
<i>Arrefecedores</i>	707/1; 707/2
<i>Balanças</i>	786; 3786
<i>Bombas</i>	-
<i>Centrifugadores</i>	-
<i>Ciclone/Compressor</i>	P22; P506; P60; P2A
<i>Cozedores</i>	705 A1; 705 A2
<i>Dessolventizador</i>	70
<i>Eclusas</i>	308; 308 E; 3708 A; 5708 B4; 708 A1; 708 A2; 708 A3; 708 H; 708 I; 708 J; 708 K; 8 A; 8 B; 8 D; 8 D/A1; ECC
<i>Elevadores</i>	E; E1; TF 3C; TP 2A; TP 7; TR 1
<i>Expanders</i>	706/2; 706/3
<i>Extractores</i>	3T
<i>Filtros</i>	24 A; 24 B; 314/316; 3714/16; 716A
<i>Laminadores</i>	704 A1; 704 A2; 704 A3; 704 A4; 704 A5
<i>Misturador</i>	20; 503
<i>Moinhos Martelo</i>	3769 B; 3769 C; 3769 D
<i>Queimadores</i>	-
<i>Rotativos</i>	742; 742 A; 5742 B; 5742 C; 5742 D
<i>Secador</i>	-
<i>Tarara</i>	740; 740 A
<i>Tolvas</i>	4; 730 A2; 785 A
<i>Transportadores de Corrente</i>	1 A1; 10 B; T22; TC 1; TF 1; TF 4B; TF 5; TF 7; TF 9; TH 23; TH 26; TH 27; TH 28; TH 30; TP 1; TP 10; TP 13; TP 1A; TP 21; TP 29; TP 8A; TP 9; TR 2; TR 3
<i>Transportadores sem-fim</i>	RT 1; RT 5; RT 6; TH 21B; TH 23C; TH 24; TH 24B; TH 25; TH 29; TP 15; TP 16; TP 17; TP 18; TP 23; TP 24; TP 26; TP 27; TP 28; TP 6; TR 4; TR 5; TR 6; TR 8
<i>Trituradores</i>	703 A1; 703 A2; 703 A4; 703 A4
<i>Ventiladores</i>	336 B; 336 D; 736 A1; 736 A3; 736 H; 736 I; 736 J; 736 K; V1; V2; V3

ANEXO B.2: Índice Crítico de Falha

<i>Equipamento</i>	<i>Número de Falhas</i>	<i>Tempo médio de Paragem (horas)</i>	<i>Índice Crítico de Falha</i>
<i>Arrefecedores</i>	46	4,21	193,66
<i>Balanças</i>	27	1,53	41,31
<i>Bombas</i>	7	6,65	46,55
<i>Centrifugadores</i>	14	8,61	120,54
<i>Ciclone Compressor</i>	21	8,06	169,26
<i>Cozedores</i>	30	5,36	160,80
<i>Desolventizador</i>	16	7,14	114,24
<i>Eclusas</i>	46	6,79	312,34
<i>Elevadores</i>	52	2,44	126,88
<i>Expanders</i>	201	4,49	902,49
<i>Extractores</i>	47	2,06	96,82
<i>Filtros</i>	232	1,07	248,24
<i>Laminadores</i>	457	4,22	1.928,54
<i>Misturador</i>	5	6,80	34,00
<i>Moinhos martelo</i>	54	6,17	333,18
<i>Queimadores</i>	15	4,02	60,30
<i>Rotativos</i>	59	2,19	129,21
<i>Secador</i>	64	3,91	250,24
<i>Tarara</i>	22	2,71	59,62
<i>Tolvas</i>	9	2,17	19,53
<i>Transportadores Corrente</i>	160	4,37	699,20
<i>Transportadores sem fim</i>	58	4,07	236,06
<i>Trituradores</i>	45	2,84	127,80
<i>Ventiladores</i>	64	6,37	407,68

ANEXO B.3: Teste de Laplace do conjunto dos laminadores

<i>Laminadores</i>	<i>n_f</i>	<i>T</i>	<i>Σ τ_i</i>	<i>z₀</i>
<i>A1</i>	63	555	17.801	-4,09
<i>A2</i>	90		26.801	
<i>A3</i>	49		14.516	
<i>A4</i>	108		18.561	
<i>A5</i>	106		24.398	
<i>Total</i>	416	555	102.077	

ANEXO B.4: Teste de Laplace do conjunto dos expanders

<i>Expanders</i>	n_f	T	$\Sigma \tau_i$	z_0
2	147	564	47.697	4,18
3	27		6.780	
Total	174	564	54.477	

ANEXO B.5: Teste de Laplace do conjunto dos Transportadores de Corrente

<i>Transportadores de Corrente</i>	n_f	T	$\Sigma \tau_i$	z_0
1A1	2	562	449	-1,42
10B	1		194	
T22	11		3.876	
T21	5		1.383	
TF1	7		1.529	
TF4B	1		246	
TF5	1		377	
TF7	1		406	
TF9	2		37	
TH23	1		515	
TH26	7		2.297	
TH27	7		1.365	
TH28	1		507	
TH30	2		498	
TP1	4		1.868	
TP10	1		540	
TP13	4		1.272	
TP1A	19		4.941	
TP20	8		1.901	
TP21	27		6.314	
TP29	15		3.065	
TP8A	12		3.474	
TP9	10		2.903	
TR2	1	1		
TR3	9	1.813		
Total	159	562	41.771	

ANEXO B.6: Teste de Laplace do conjunto dos Ventiladores

<i>Ventiladores</i>	n_f	T	$\Sigma \tau_i$	z_0	
336B	2	550	25	1,47	
336D	1		383		
736 A1	20		6.395		
736 A2	8		2.789		
736 A3	3		1.055		
736 H	4		1.032		
736 I	4		1.369		
736 J	5		1.537		
736 K	3		815		
V1	1		457		
V2	2		474		
V3	2		530		
Total	55		550		16.861

ANEXO B.7: Teste de Laplace do conjunto dos Moinhos Martelo

<i>Moinhos Martelos</i>	n_f	T	$\Sigma \tau_i$	z_0
B	18	544	5.444	-0,21
C	12		2.585	
D	19		5.071	
Total	49	544	13.100	

ANEXO C

ANÁLISE ESTATÍSTICA E DO CCV – LAMINADORES

ANEXO C.1: Características Técnicas do Actual Laminador.

<i>Pressão da Bomba</i>	<i>1.000 bar</i>
<i>Comprimento dos Rolos</i>	<i>1.950mm</i>
<i>Diâmetro dos Rolos</i>	<i>700mm</i>
<i>Pressão de dispositivo de aperto dos rolos</i>	<i>70 bar</i>
<i>Toneladas Produzidas por dia</i>	<i>375</i>

ANEXO C.2: Características Técnicas do Laminador Novo

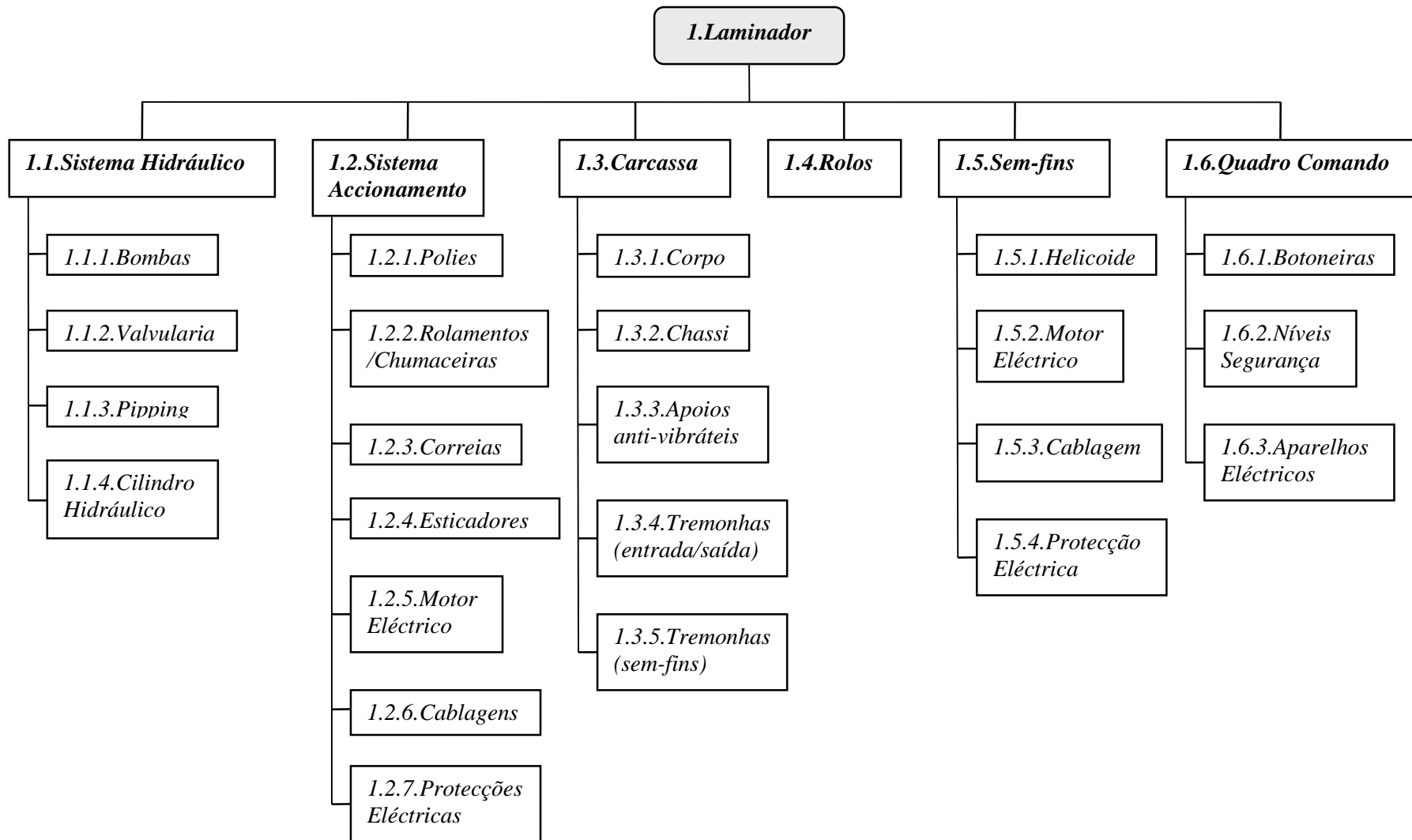
<i>Pressão da Bomba</i>	<i>-</i>
<i>Comprimento dos Rolos</i>	<i>2.100</i>
<i>Diâmetro dos Rolos</i>	<i>800</i>
<i>Pressão de dispositivo de aperto dos rolos</i>	<i>50-80 bar</i>
<i>Toneladas Produzidas por dia</i>	<i>375</i>

ANEXO C.3: Teste de Laplace de cada laminador individualmente

<i>Laminadores</i>	<i>n_f</i>	<i>T</i>	<i>$\Sigma \tau_i$</i>	<i>z_0</i>
<i>A1</i>	<i>63</i>	<i>555</i>	<i>17.801</i>	<i>0,25</i>
<i>A2</i>	<i>90</i>	<i>527</i>	<i>26.801</i>	<i>1,96</i>
<i>A3</i>	<i>49</i>	<i>547</i>	<i>14.516</i>	<i>1,01</i>
<i>A4</i>	<i>108</i>	<i>555</i>	<i>18.561</i>	<i>-1,09</i>
<i>A5</i>	<i>106</i>	<i>554</i>	<i>24.398</i>	<i>-3,02</i>

ANEXO C.4: Laminador A4





ANEXO C.5: Decomposição dos Componentes dos Laminadores em órgãos

ANEXO C.6: Quadro dos custos do Actual Laminador

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Consumo / Produção Grão Soja (Toneladas)	105000	105000	105000	105000	105000	105000	105000	105000	105000	105000
Disponibilidade Fabrica (dias)	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288
<u>Custos de Operação (€)</u>		47.250,00	48.667,50	50.127,53	51.631,35	53.180,29	54.775,70	56.418,97	58.111,54	59.854,89
Custos Energéticos (€)		47.250,00	48.667,50	50.127,53	51.631,35	53.180,29	54.775,70	56.418,97	58.111,54	59.854,89
<u>Custos de Manutenção (€)</u>		74.255,00	76.961,32	80.833,98	83.209,83	85.390,73	87.833,65	90.865,58	54.857,56	56.687,49
Custo Reparações (€)		5.135,00	5.785,00	7.540,00	7.735,00	7.670,00	7.800,00	8.450,00	8.450,00	8.450,00
Previsão Numero Falhas		79	89	116	119	118	120	130	130	130
Custo Rectificação dos Rolos (€)		1.728,00	1.762,56	1.797,81	1.833,77	1.870,44	1.907,85	1.946,01	1.984,93	2.024,63
Previsão Numero Rectificação Topos		2	1,63	1,66	1,70	1,73	1,77	1,80	1,84	1,87
Previsão Tempo Rectificação Topos Rolos(h)		115,20	117,50	119,85	122,25	124,70	127,19	129,73	132,33	134,98
Custo Substituição Rolos Laminador (€)		67.392,00	69.413,76	71.496,17	73.641,06	75.850,29	78.125,80	80.469,57	44.422,63	46.212,87
Previsão Numero Substituições Rolos		1,728	1,728	1,728	1,728	1,728	1,728	1,728	1,728	1,728
<u>Custos de Não Operação (€)</u>		48.997,37	53.051,49	63.506,92	64.931,71	64.853,54	65.911,19	69.989,52	70.303,42	70.622,55
Previsão Numero Falhas		79	89	116	119	118	120	130	130	130
Previsão Tempo Reparação (MTTR)		371,30	418,30	545,20	559,30	554,60	564,00	611,00	611,00	611,00
Previsão Número Rectificação Topos Rolos		1,60	1,63	1,66	1,70	1,73	1,77	1,80	1,84	1,87
Previsão Tempo Rectificação Topos Rolos(h)		115,20	117,50	119,85	122,25	124,70	127,19	129,73	132,33	134,98
Previsão Numero Substituições Rolos		1,728	1,745	1,761	1,778	1,796	1,814	1,832	1,851	1,869
Previsão Tempo Substituição Rolos (h)		124,42	125,66	126,77	128,04	129,32	130,61	131,92	133,24	134,57
Custo total (€)		170.502,37	178.680,31	194.468,43	199.772,89	203.424,57	208.520,54	217.274,07	183.272,53	187.164,93

ANEXO C.7: Quadro dos custos do Novo Laminador

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Consumo / Produção Grão Soja (Toneladas)	105000	105000	105000	105000	105000	105000	105000	105000	105000	105000
Disponibilidade Fabrica (dias)	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288
<u>Custo de Aquisição (€)</u>	375.933,00									
<u>Custos de Operação (€)</u>		42.954,55	44.243,18	45.570,48	46.937,59	48.345,72	49.796,09	51.289,97	52.828,67	54.413,53
Custos Energéticos (€)		42.954,55	44.243,18	45.570,48	46.937,59	48.345,72	49.796,09	51.289,97	52.828,67	54.413,53
<u>Custos de Manutenção (€)</u>		15.320,61	15.909,80	16.578,34	17.337,48	18.205,72	19.211,71	20.399,05	21.834,32	23.620,22
Custo Reparações (€)		1.770,67	1.823,7€	1.934,86	2.114,27	2.379,63	2.758,64	3.293,96	4.051,16	5.131,88
Previsão Numero Falhas		9	9	9	9	10	10	10	10	10
Custo Rectificação Rolos (€)		492,52	502,37	512,42	522,67	533,12	543,78	554,66	565,75	577,07
Previsão Numero Rectificação Topos Rolos		2	2	2	2	2	2	2	2	2
Previsão Tempo Rectificação Topos Rolos(h)		13	13	13	14	14	14	14	15	15
Previsão Numero Rectificações Completas		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Previsão Tempo Rectificação Completa (h)		20	20	21	21	22	22	23	23	23
Custo Substituição Rolos (€)		13.057,43	13.583,64	14.131,06	14.700,54	15.292,97	15.909,28	16.550,43	17.217,41	17.911,27
Previsão Numero Substituições Rolos		0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18
<u>Custos de não operação (€)</u>		5.849,19	5.959,04	6.071,02	6.185,17	6.301,53	6.420,15	6.541,06	6.664,31	6.789,96
Previsão Numero Falhas		9	9	9	9	10	10	10	10	10
Previsão Tempo Reparação (MTTR)		31,2	31,8	32,5	33,1	33,8	34,5	35,1	35,8	36,6
Previsão Numero Rectificação Topos		2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5
Previsão Tempo Rectificação Topos Rolo (h)		13	13	13	14	14	14	14	15	15
Previsão Numero Rectificações Completas		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
Previsão Tempo Rectificação Completa (h)		20	20	21	21	22	22	23	23	23
Previsão Numero Substituições Rolos		0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18
Previsão Tempo Substituição Rolos (h)		8,9	9,0	9,1	9,2	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6
Custo total (€)	375.933,00	64.124,35	66.112,02	68.219,84	70.460,24	72.852,98	75.427,94	78.230,08	81.327,30	84.823,71

ANEXO C.8: Quadro dos VAL's obtidos para os dois cenários

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Laminador Actual										
CCV (€)		170.502,37	178.680,31	194.468,43	199.772,89	203.424,57	208.520,54	217.274,07	183.272,53	187.164,93
VAL (9,7%)		155.426,05	303.904,50	451.213,48	589.159,77	717.207,03	836.856,03	950.503,95	1.037.890,45	1.119.241,81
VAL (14,6%)		148.780,43	284.833,22	414.042,96	529.866,83	632.782,22	724.835,90	808.533,99	870.139,62	925.038,43
Laminador Novo										
CCV (€)	375.933,00	64.124,35	66.112,02	68.219,84	70.460,24	72.852,98	75.427,94	78.230,08	81.327,30	84.823,71
VAL (9,7%)	342.691,89	395.977,47	446.057,03	493.163,89	537.515,67	579.318,68	618.772,21	656.073,23	691.422,20	725.030,84
VAL (14,6%)	328.039,27	376.865,55	420.792,05	460.344,40	495.991,24	528.152,98	557.209,26	583.505,69	607.360,44	629.071,00

Nome do ficheiro: Dissertação_Sofia Marques(1)
Directório: C:\Users\Sofia Marques\Desktop
Modelo: C:\Users\Sofia Marques\AppData\Roaming\Microsoft\Modelos\Normal.dot
Título: UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Assunto:
Autor: Sofia Marques
Palavras-chave:
Comentários:
Data de criação: 02-10-2009 11:47:00
Número da alteração: 309
Guardado pela última vez em: 16-01-2010 17:41:00
Guardado pela última vez por: Sofia Marques
Tempo total de edição: 1.133 Minutos
Última impressão: 16-01-2010 17:42:00
Como a última impressão completa
Número de páginas: 141
Número de palavras: 33.672 (aprox.)
Número de caracteres: 181.829 (aprox.)