

Resumo

De alguns anos a esta parte, a Manutenção tem-se posicionado como uma das funções de maior potencial para a rentabilização da actividade das empresas. Tal facto não é independente das evoluções tecnológicas, que visam sobretudo implementar processos de previsão da condição dos equipamentos, tendo como objectivo obter melhorias de manutibilidade e fiabilidade, no seu contexto operacional. Estes processos, ao incrementarem a disponibilidade dos equipamentos, vão ao encontro das expectativas criadas na aquisição dos mesmos – otimizar a sua produção nas vertentes quantitativa, qualitativa e temporal.

No entanto, os processos de previsão da condição não são passíveis de aplicação a todos os equipamentos, face à vasta gama de tecnologias utilizadas. Nestas situações é dever da função Manutenção executar acções preventivas, no intuito de garantir que os equipamentos estejam disponíveis quando necessário. Os modelos de fiabilidade são uma ferramenta disponível para a prossecução deste propósito.

Uma das estratégias de Manutenção em crescendo de aplicação no panorama industrial actual é a Manutenção Centrada na Fiabilidade. Em traços gerais, a mesma trata de determinar as acções de manutenção requeridas para cada componente, no contexto operacional em que está inserido. O seu desenvolvimento assenta na metodologia FME(C)A, que permite caracterizar detalhadamente os diferentes modos de avaria, quantificando a sua criticidade e frequência de ocorrência. Com efeito, este conhecimento torna possível delinear planos de Manutenção que melhor se ajustem ao fim em vista, obtendo inerentemente, algumas reduções de custos.

No presente trabalho, em que analisamos uma de família de motores e órgãos directamente associados, motores e órgãos esses, que, por sua vez, equipam parte de uma frota de locomotivas Diesel de transporte de mercadorias, procurámos aplicar as noções enunciadas tendo em vista a sua manutenção e aumento da fiabilidade.

A perspectiva de trabalhos futuros passará então pela generalização a outros órgãos e criação de rotinas de cálculo em função da fiabilidade, que permitam decidir se, economicamente, se justificam aquisições de novos equipamentos ou reparação dos existentes.

Abstract

Over the last few years, maintenance has been one of the functions with the most potential to industries' profit growth. The latest technologic breakthroughs, which aim essentially at implementing equipments condition prediction processes, have had the purpose of improving maintainability and reliability in their operational context. By increasing equipments endurance, these processes fulfil their role - optimizing their production in terms of quantity, quality and time.

Nevertheless, equipments' condition prediction processes are not applicable to every equipment, given the vast variety of different technologies used by these equipments. In this case, maintenance should execute preventive action, in order to assure that equipments are available whenever necessary. Reliability models are an available tool for the prosecution of this purpose.

One of maintenance's growingly increasing strategies in the current industrial situation is Reliability Centred Maintenance. Generally speaking, RCM deals with the appropriate maintenance procedures for each component, in its operational context. Its development is based on FME(C)A methodology, which enables the characterization of different malfunctioning cases, quantifying its severity and occurrence frequency. RCM enables to plan maintenance strategies which best adapt to their proper end, obtaining therefore some expenditure redaction.

In this thesis we made an attempt to analyze a family of engines and organs associated to these engines, which equip part of a Diesel – locomotive cargo transportation. To do so, we applied the concepts formerly mentioned aiming at its maintenance and increase of reliability.

Further research in the area of maintenance shall extend towards other organs and create new calculation routines in what reliability is concerned. This will allow to make accurate decisions regarding the acquisition of new equipment or its repairing from an economic point of view.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, presto o meu profundo agradecimento aos Srs. Professores Doutores Luís Andrade Ferreira e Filipe Didelet Pereira pela disponibilidade, apoio, incentivo, colaboração e rigor colocados na orientação do presente trabalho, ao longo das suas diversas fases de execução.

Para os Srs. Engenheiros Cláudio dos Santos e Manuel Lorga, da CP-UMAT, respectivamente pelo acesso ao seu vasto conhecimento intelectual e pelo apoio desenvolvido nas pesquisas SAP, o meu agradecimento.

Ao Sr. Mestre João Ruivo, da Gare do Oriente, o meu obrigado pelo acesso ao software Weibull ++ 6.

Realço também o importante contributo do colega Engenheiro Rui Chambel, que disponibilizou o seu “Know-how” técnico, enquadrado na realização da presente tese.

Aos meus pais e irmãos, mais do que um agradecimento tributo-lhes infindável admiração, por naturalmente se fazerem constituir pedras basilares de toda a minha existência.

Agradeço ainda a todos os colegas, amigos e restante família, que das mais diversas formas sempre me apoiaram no trajecto até agora percorrido. Destes, destaco as seguintes individualidades: Alexandra Santos, Aníbal Silva, António Rodrigues, António Xavier, Ashley Blue, Carlos Martins, Carolina Temporão, Cláudia Horta, Hugo Silva, João Reis, Manuel João Vieira, Maria Dos Santos, Paulo Madeira, Pedro Baltazar, Pedro Pais, Pedro Vidinha, Prof. Herrero, Ricardo Albuquerque, Ricardo Pinto, Ricardo Reis, Susete Soares e Zeferino Xavier.

Finalmente, agradeço à EMEF – Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário, SA e seus responsáveis, todos os meios, financeiros e materiais, que generosamente colocou à minha disposição, bem como a incondicional acreditação das minhas faculdades e o forte e contínuo incentivo prestado durante a realização deste curso de Mestrado.

ÍNDICE

	Página
Resumo	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos	iii
Índice	iv
Índice de figuras	vii
Lista de siglas e símbolos	ix
Capítulo 1 Introdução e objectivos	1
1.1 Introdução	1
1.1.1 Perspectiva histórica dos comboios	1
1.1.2 Enquadramento do problema.....	3
1.2 Formulação dos problemas.....	4
1.3 Objectivos.....	4
1.4 Definições e conceitos utilizados.....	4
1.4.1 Conceitos Gerais.....	4
1.4.2 Conceitos Particulares.....	5
1.5 Resenha bibliográfica.....	6
1.5.1 Definição de manutenção.....	6
1.5.2 Importância da manutenção.....	7
1.5.3 Evolução da manutenção.....	8
1.5.3.1 Evolução histórica.....	8
1.5.3.2 As novas abordagens da função manutenção.....	9
1.5.4 Conceitos e formas de manutenção.....	14
1.5.4.1 Algumas definições importantes.....	14
1.5.4.2 Formas e tipos de manutenção.....	19
1.5.5 Gestão da manutenção de sistemas.....	25
1.5.5.1 Selecção dos tipos de manutenção.....	26
1.5.6 Custos da manutenção.....	27
1.6 Organização da tese.....	31
Capítulo 2 FIABILIDADE – Quantificação e co-relação com a manutenção	33
2.1 Manutenção Centrada na Fiabilidade.....	33

2.1.1	O envolvimento das pessoas na estratégia RCM.....	35
2.1.2	Constrangimentos de implementação e aplicação da estratégia RCM.....	36
2.1.3	O tempo e esforço requerido	36
2.1.4	A mudança de “mentalidades”.....	36
2.1.5	Os objectivos da estratégia RCM.....	37
2.2	FME(C)A – “Failure Mode and Effect Criticality Analysis”.....	39
2.2.1	Interpretação do FME(C)A	40
2.2.2	Condução do processo FME(C)A	41
2.2.3	Tipos de FME(C)As	42
2.3	FME(C)A de Processo	45
2.4	Teste de Laplace	45
2.5	Estatística e Fiabilidade	48
2.6	Modelos de fiabilidade	54
2.7	Conclusões do capítulo 2	55
Capítulo 3	CASO em ESTUDO: A empresa e o equipamento.....	56
3.1	Enquadramento do problema	56
3.1.1	Identificação da Empresa.....	56
3.1.2	Identificação das instalações de reparação de locomotivas Diesel-eléctricas	58
3.1.3	Cadeia de valor do GOB.....	59
3.1.4	Descrição geral de funções.....	59
3.1.4.1	Direcção do GOB.....	59
3.1.4.2	Serviços Técnicos.....	59
3.1.4.3	Logística.....	60
3.1.4.4	Qualidade.....	60
3.1.4.5	Administrativa-Financeira	60
3.1.4.6	Produção	60
3.1.5	Posição Competitiva.....	61
3.1.6	A empresa – as ferramentas da função Manutenção	62
3.2	Locomotiva Diesel – Eléctrica Bombardier Série 1960 -1962/1973	64
3.2.1	Características.....	64
3.3	Constituição da locomotiva BB Série 1960-1962/1973.....	65
3.4	Princípio de funcionamento da locomotiva Diesel – Eléctrica	71
3.5	Conclusões do Capítulo 3	72

Capítulo 4	Capítulo 4 – CASO em ESTUDO: Identificação do problema	73
4.1	Apresentação da situação.....	73
4.2	Recolha e tratamento de dados	74
4.3	Identificação dos Modos de Avarias	75
4.4	Aplicação do Teste de Laplace para cada modo de avaria	77
4.5	Cálculo de Fiabilidade	81
4.5.1	Parâmetros de Weibull	82
4.5.2	Comentários para parâmetro de forma $\beta < 1$	82
4.5.3	Comentários para parâmetro de forma $\beta > 1$	83
4.5.4	Comentários para parâmetro de forma $\beta > 2$	88
4.6	Aplicação da metodologia FME(C)A	88
4.6.1	Escolha do equipamento	88
4.6.2	Determinação e caracterização do modo de falha crítico	89
4.7	Conclusões da aplicação da estratégia RCM	89
Capítulo 5	Conclusões gerais	91
5.1	Resumo do trabalho realizado	91
5.2	Conclusões	92
5.3	Sugestões para trabalhos futuros	93
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	95
Anexo I	Ficha Técnica da Série de Locomotivas Diesel – Eléctricas Bombardier 1961 / 1973	99
Anexo II	Histórico das avarias das locomotivas da série 1960	100
Anexo III	Percentagem em que ocorre cada modo de avaria	112
Anexo IV	Exemplo da organização de dados por modo de avaria	113
Anexo V	Exemplo da aplicação do teste de Laplace em folha de cálculo	114
Anexo VI	Exemplo de carregamento de dados no software Weibull++ Version 6	115
Anexo VII	Gráficos de Probabilidade de Falhas F(t), Fiabilidade R(t), Taxa de avarias $\lambda(t)$ e Função densidade de probabilidade f(t) para cada equipamento estudado	116
Anexo VIII	Classificações e índices de severidade do efeito, frequência de ocorrência e dificuldade de detecção dos modos de avaria	126
Anexo IX	FME(C)A realizado para o equipamento turbocompressor	128

ÍNDICE de FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Primeira locomotiva construída	1
Figura 1.2 Locomotiva <i>Rocket</i>	2
Figura 1.3 O crescimento das expectativas da Manutenção	9
Figura 1.4 Curva da banheira	15
Figura 1.5 MTTR e MTBF	17
Figura 1.6 Formas de intervenção da manutenção	20
Figura 1.7 Operação típica de Manutenção Curativa	21
Figura 1.8 Operação típica de Manutenção Preventiva Sistemática	22
Figura 1.9 Operação típica de Manutenção Condicionada	23
Figura1.10 Manutenção Preventiva Condicionada	25
Figura1.11 Algoritmo para a selecção do tipo de manutenção óptimo	27
Figura1.12 Optimização dos custos	29
Figura1.13 Custo de ciclo de vida	30
Figura1.14 Custo de posse de um equipamento	31
Figura 2.1 Quadro das características do parâmetro de forma da distribuição de Weibull	52
Figura 2.2 Função densidade de falhas da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma β	53
Figura 2.3 Taxa de Falha para diferentes parâmetros da distribuição Weibul.....	53
Figura 3.1 Tabela de Intervenções	57
Figura 3.2 Locomotiva Série 1960	64
Figura 3.3 Visualização de um motor diesel de 16 cilindros em V	66
Figura 3.4 Cabeça do cilindro	66
Figura 3.5 Quadro eléctrico de uma locomotiva 1960.....	67
Figura 3.6 Representação interna de um motor de tracção.....	68
Figura 3.7 Visualização geral da forma e dos elementos constituintes do bogie.....	68
Figura 3.8 Representação esquemática da constituição do bogie.....	69
Figura 3.9 Radiador da série de locomotivas 1960.....	70
Figura 3.10 Compressor da série de locomotivas 1960.....	70
Figura 3.11 Representação do braço que recebe o movimento do cilindro e que acciona os cepos.....	71

Figura 3.12	Representação esquemática do interior de um cilindro de freio.....	71
Figura 4.1	Tempos totais de imobilização de cada modo de avaria	75
Figura 4.2	Tendência das avarias provocadas por “Fuga de óleo”.....	80
Figura 4.3	Tendência das avarias associadas ao equipamento “Radiador”.....	80
Figura 4.4	Tabela dos parâmetros característicos da distribuição de Weibull	82
Figura 4.5	Gráfico taxa de avarias/ tempo, das falhas associadas ao equipamento “RCF”	83
Figura 4.6	Probabilidade de falha das avarias associadas ao equipamento “compressor”.....	85
Figura 4.7	Fiabilidade do equipamento “cabeça de cilindro”.....	86
Figura 4.8	Gráfico taxa de avarias/ tempo, das falhas associadas ao equipamento “turbocompressor”	87

Lista de siglas e de símbolos

JIT -	Just In Time
TPM -	Total Productive Maintenance
RCM -	Reliability-centered Maintenance
RBI -	Risk-based Inspection
EUT -	Eindhoven University of Technology Model
TQMain -	Total Quality Maintenance
$R(t)$ -	Fiabilidade
$F(t)$ -	Probabilidade de falha
$f(t)$ -	função densidade de probabilidade de falha
$\lambda(t)$ -	Taxa de avarias
MTBF -	Mean Time Between Failure
TTR -	Time To Repair
MTTR -	Mean Time To Repair
μ -	Taxa de reparações
MDT -	Mean Down Time
MUT -	Mean Up Time
D -	Disponibilidade estacionária
D_i -	Disponibilidade intrínseca
I -	Indisponibilidade estacionária
UT -	Up Time
DT -	Down Time
\bar{D} -	Disponibilidade média
D_0 -	Disponibilidade operacional
FMECA -	Failure mode effect and criticality analysis
LCE -	Life Cycle Engineering
LCC -	Life Cycle Costing
α -	Nível de significância (teste de Laplace)
χ^2 -	Qui-quadrado (teste de adequação)
K-S -	Kolmogorov-Smirnov (teste de adequação)
β -	Parâmetro de forma (distribuição de Weibull)
η -	Parâmetro de escala (distribuição de Weibull)
γ -	Parâmetro de posição (distribuição de Weibull)

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO e OBJECTIVOS

1.1 Introdução

1.1.1 Perspectiva histórica dos comboios

A história dos comboios inicia-se entre o final do século XVIII e o início do séc. XIX. A revolução industrial foi a grande impulsionadora para que hoje estejamos numa situação tecnologicamente muito avançada. Tanto mais que a revolução industrial estava de certa forma direccionada para a indústria têxtil, foi nessa altura que se deu início ao aparecimento da era do carvão e do aço. Então, o Homem procurava obter por parte da natureza novas formas de criar uma força motriz que fosse capaz de responder às suas necessidades, bem como novos meios de transporte, isto porque os meios de então já se revelavam insuficientes para as necessidades existentes. Deu-se início a uma evolução extraordinária que procurou as respostas a esse crescendo de desafios.

Quando Travithick, em 1804, pôs em marcha, a sua locomotiva a vapor, o progresso do caminho de ferro foi uma constante. Seguiu-se-lhe Stephenson, que era um trabalhador de minas de carvão, bastante engenhoso e preocupado com a necessidade de tornar mais fácil e produtivo o transporte de carvão desde a mina até aos locais de consumo e armazenamento, concebeu a primeira locomotiva que traccionou uma carga de 30 toneladas de carvão num percurso de inclinação de 1 para 450, com uma velocidade de 6 km/hora. O seu princípio de funcionamento consistia também na aplicação da energia do vapor de água sob pressão para tracção dos carros que eram realizados por animais.

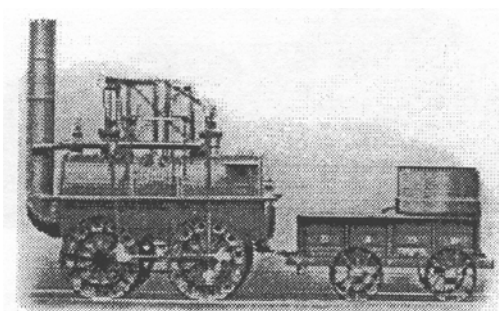


Figura 1.1 – Primeira locomotiva construída

Com base nas suas ideias e experiências apareceu a primeira fábrica de locomotivas a Robert Stephenson & C^a localizada em Newcastle, tanto que a primeira linha férrea ligava Newcastle a Stockton e Darlington. Em 1825 são construídas novas locomotivas pelo mesmo fabricante que asseguraram o transporte de mercadorias com velocidade entre os 18 a 24 km/h.

Em 1829, a fábrica pioneira de Newcastle, apresentou a famosa locomotiva *Rocket*, que devido às suas características mecânicas é considerada como um protótipo das locomotivas a vapor e das locomotivas em geral.

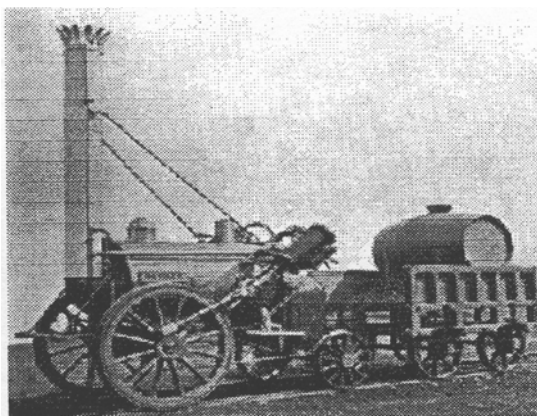


Figura 1.2 – Locomotiva *Rocket*

No entanto, até 1833, a tracção de locomotivas coexistiu com a tracção animal. A partir da locomotiva *Rocket* foram aparecendo novas locomotivas cada vez mais rápidas e potentes, com uma maior complexidade e de grande porte. Inicialmente, as primeiras foram a vapor. Posteriormente, em 1925, foram construídas as primeiras locomotivas diesel – eléctricas, com uma maior capacidade e melhores rendimentos. Por outro lado, os avanços tecnológicos levaram ao aparecimento de 50 das locomotivas eléctricas na década de 50.

Há algumas décadas atrás, o comboio era um meio de transporte muito utilizado para o transporte tanto de passageiros como de mercadorias em Portugal e em todo o mundo, mas com o rápido crescimento da indústria automóvel e da aviação, o transporte ferroviário perdeu alguma importância nas sociedades europeias e em particular na sociedade portuguesa, no que diz respeito ao transporte de passageiros. No que concerne ao transporte de mercadorias, ainda possui hoje uma grande importância, porque permite transportar grandes quantidades com uma velocidade relativamente elevada e a baixo custo. Não obstante as lacunas pontuais que existem, o transporte ferroviário possui ainda uma vasta rede que abrange todo o país e toda a Europa, facilitando as comunicações terrestres.

Ainda assim, o transporte ferroviário é hoje fundamental, na medida em que corresponde aos desafios actuais da defesa do meio ambiente, da qualidade de vida das populações e da lógica do sistema.

1.1.2 Enquadramento do problema

No contexto da nova organização da economia mundial, podemos afirmar que vivemos uma época de profundas mudanças. Está patente que, nas sociedades ocidentais, o paradigma industrial deu lugar a um outro modelo de desenvolvimento económico. A focalização nas necessidades e aspirações dos consumidores, bem como a retenção de clientes com mais valor é fundamental para o sucesso. Esta centralização dos negócios no consumidor resulta do lento crescimento dos mercados e do inerente aumento da intensidade concorrencial.

No actual cenário de liberalização dos mercados, a luta pela sobrevivência conduz à exploração máxima dos recursos, sejam eles humanos, infraestruturais, tecnológicos ou energéticos. Ao mesmo tempo, ganham cada vez mais adeptos as teses ecologistas que apelam à qualidade de vida nas suas múltiplas vertentes.

Em todo este contexto, as empresas de sucesso apresentam como base de sustentação à diferenciação dos seus produtos e serviços o desenvolvimento da sua acção e a definição das suas estratégias segundo uma lógica de inovação, sendo fundamental que as mesmas entidades sejam conhecedoras dos factores de adesão aos produtos e/ou serviços que prestam.

Os indicadores dos critérios de qualidade mais valorizados em importância atribuída pelo cliente habitual CP, são a *fiabilidade dos equipamentos e disponibilidade global dos comboios*, já que as avarias dos mesmos, dão origem a falhas de pontualidade e cumprimento dos horários, os quais são factores decisivos para a escolha do meio de transporte a tomar pelo cliente final.

O prestador do serviço deve conferir particular atenção à dimensão da sua frota, devendo o quantitativo suprir as necessidades. No entanto, quanto maior for a dimensão da frota, maiores serão os investimentos com a sua aquisição e manutenção. Assim, e de acordo com os princípios de racionalização dos investimentos e de minimização dos custos, as acções tomadas deverão ser direccionadas no aumento da disponibilidade do material circulante ferroviário.

Para Ferreira (1998), aumentar a disponibilidade consiste em reduzir o número de paragens por avaria e os tempos de reparação e inspecção: daqui se conclui que não é suficiente possuir equipamentos fiáveis para se obterem elevados índices de disponibilidade, mas que é também necessário garantir máxima celeridade nas operações de reparação, manutenção e inspecção.

1.2 Formulação dos problemas

Contextualizado o problema, traçamos como objectivos para o presente trabalho o estudo e a avaliação de alguns dos factores de afectação da disponibilidade, nomeadamente a fiabilidade e o modo de falha crítico. Através do caso prático de estudo, “família” de 13 motores de combustão interna e propulsão Diesel e seus equipamentos associados que se encontram montados sobre as locomotivas da série Bombardier 1960, procuraremos dar resposta a duas questões fundamentais:

- Como vai evoluir a degradação dos equipamentos em estudo?
- Qual o modo de falha crítico e como minorar os seus efeitos?

1.3 Objectivos

De forma a obter respostas credíveis às questões formuladas no sub capítulo anterior, a nossa proposta é promover o desenvolvimento das seguintes acções:

- Estabelecer os modelos matemáticos para avaliação da fiabilidade;
- Inferir sobre a degradação da fiabilidade em função do tempo;
- Determinar o modo de falha crítico;
- Propor medidas de carácter preventivo, não sistemático, para a falha crítica.

1.4 Definições e conceitos utilizados

Estabelecem-se dois níveis diferenciados de conceitos:

- Gerais, que serão definidos a partir de uma abordagem matemática;
- Particulares, que serão definidos a partir da terminologia usual no caso em estudo.

1.4.1 Conceitos Gerais

A formulação matemática de alguns dos conceitos seguintes será apresentada no subcapítulo 1.5.

- **Fiabilidade:** Probabilidade dum item poder executar uma função requerida, sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo;

- **Manutibilidade:** Probabilidade de uma acção activa de manutenção, para um elemento sob determinadas condições de utilização, poder ser executada dentro de um intervalo de tempo estabelecido, quando a manutenção é realizada nas condições pré-estabelecidas e com a utilização de procedimentos escritos e recursos pré- definidos;
- **Disponibilidade:** Capacidade de um produto se encontrar num estado de executar uma função requerida, sob dadas condições e num determinado momento ou intervalo de tempo, assumindo que os recursos externos necessários são fornecidos;
- **Avaria:** Degradação, rápida ou lenta, de um parâmetro de funcionamento até um nível considerado insatisfatório;
- **Modo de avaria:** Resultados observados de causa de uma falha num determinado item relacionadas com as condições de exploração no momento da avaria;
- **Modo de falha:** Um dos estados possíveis de um produto avariado para uma função requerida;
- **Análise por árvore de falhas:** Análise para determinar quais os modos de falha do produto, subprodutos ou acontecimentos externos, ou combinações destes, que podem resultar num estado de avaria do produto, apresentado em forma de uma representação gráfica arborizada.

1.4.2 Conceitos Particulares

Em conformidade com o estabelecido, definem-se:

- **Órgão:** Conjunto composto por vários componentes ou peças simples, formando um dispositivo de complexidade média;
- **Órgão rotável:** Órgão intermutável, que tem a particularidade de poder ser aplicado indistintamente em substituição de outros idênticos;
- **Órgão descendente:** Órgão intermutável, que depende de um órgão principal para executar a sua função;
- **Motor:** Órgão intermutável, composto por peças e outros órgãos descendentes;
- **Reparação:** Filosofia de reparação, levada a cabo em oficinas centrais, que consiste em substituir sistematicamente alguns componentes das locomotivas, reparar outros e proceder a um ensaio final para garantia da qualidade;
- **Sintoma da avaria:** Alterações à função esperada, percebidas durante a utilização;
- **Causa da avaria:** Conjunto de circunstâncias durante a utilização que conduzem a uma avaria;

- Modo de falha crítico: Estado de um produto avariado que revela o mais elevado Índice de Severidade.

1.5 Resenha bibliográfica

1.5.1 Definição de manutenção

Monchy (1996), ao estabelecer a analogia entre uma vida humana e a vida de uma máquina, ou mais genericamente de um objecto técnico, embora sem juízos de valor em relação à importância relativa Homem/ máquina, identifica a manutenção como *a medicina das máquinas*. A vida biológica consiste em nascer, viver e morrer. Nos objectos técnicos também se verificam aqueles marcos com a entrada em serviço e o abate. No que se refere à saúde, entre o primeiro e último dias, podem marcar-se três fases distintas na vida humana: recém-nascido e criança, onde se verifica um decréscimo das doenças típicas desta idade; adolescente e adulto, onde as doenças se vão revelando aleatoriamente; idade geriátrica, onde se verifica uma tendência para o aumento das doenças. Cada uma das fases terá a estratégia médica adequada.

De um modo geral, o comportamento dos objectos técnicos obedece ao mesmo figurino, ou seja. As avarias vão decrescendo em número após o arranque, as avarias ocorrerão aleatoriamente até uma determinada idade ou ao atingir esta idade as avarias tenderão a aumentar em número. Analogamente, cada uma das fases terá a estratégia adequada de manutenção.

Souris (1994) diz que *todas as definições, oficiais ou não, tendem a apresentar esta função como sendo a garantia da disponibilidade dos equipamentos de produção, pela avaliação das imperfeições no património tecnológico investido*. Farinha (1997), embora referindo a inexistência de uma definição normalizada em Portugal, aponta a *combinação de acções de gestão, técnicas e económicas, aplicadas aos bens, para optimização dos seus ciclos de vida* como possível definição para a manutenção.

Como se pode verificar, diversas definições são atribuídas à função manutenção, visando todas, objectivos e aplicabilidades comuns.

1.5.2 Importância da manutenção

Souris (1992) diz que *a manutenção começa agora a ser ensinada seriamente, fala-se dela cada vez com mais profundidade, trocam-se experiência em jornadas e colóquios, participa-se em associações de manutenção, grupos sectoriais ou regionais, em resumo, ela está na moda e na origem de várias preocupações.*

Tradicionalmente, a função manutenção é vista como uma das áreas operacionais de maior ineficácia, sendo penalizada pelo seu custo directo – mão-de-obra, materiais e serviços contratados. Esta visão encontra-se ultrapassada, já que despreza o desempenho da manutenção na óptica dos contributos dados ao produto/serviço final. O chavão de muitos anos que refere *a manutenção como um mal necessário* já não faz qualquer sentido porque, para além de criar capacidade produtiva, a manutenção é co-responsável pela optimização da mesma em diversos domínios.

Pinto (1994) justifica a importância da manutenção, analisando três aspectos fundamentais:

- Económicos – Obtenção do máximo rendimento dos investimentos feitos em instalações e equipamentos, prolongando o máximo a sua vida útil e mantendo-os em operação o máximo de tempo possível. Isto é conseguido através de:
 - Redução ao mínimo dos desperdícios, rejeições e reclamações de produtos;
 - Apoiar o esforço de vendas da empresa, evitando atrasos ou interrupções da produção;
 - Redução dos custos dos consumos em energia e fluidos;
 - Obtenção do melhor aproveitamento dos recursos humanos da empresa.
- Legais – As exigências legais englobam atitudes de prevenção nos seguintes campos:
 - Insegurança (risco de acidente, individual ou colectivo);
 - Incómodo (ruído, fumos, cheiros);
 - Poluição (emissões gasosas, descargas líquidas, resíduos sólidos);
 - Insalubridade (temperatura, humidade).
- Sociais – Mesmo numa situação em que não exista imposição legal, a preservação da imagem da empresa, pode justificar a adopção de medidas de manutenção adequadas, devido a pressões dos grupos sociais relacionados com a empresa.

1.5.3 Evolução da manutenção

1.5.3.1 Evolução histórica

Em meados do século XIX, quando surgiu a Revolução Industrial, é introduzido o conceito de mecanização da produção em oposição ao artesanal, único até então. Esta mecanização, ainda que de génese construtiva bastante simples, fez sobressair a necessidade de reparar regularmente as máquinas. Desde o início desta era, até ao final da 2ª Guerra mundial a actividade de manutenção manteve a atitude geral de corrigir as anomalias que iam surgindo. Porém, as indústrias de transporte constituíram sempre uma excepção, porque foram obrigadas a projectar a manutenção do seu equipamento de modo a assegurar um grau de confiança superior nas unidades em serviço. Era o caso do planeamento formal e completo das locomotivas a vapor; era o caso das inspecções, segundo um plano fixo, dos motores alternativos a vapor, dos primeiros navios. Com o advento da aviação, tornou-se absolutamente necessário desenvolver um esquema de manutenção dos equipamentos tal que reduzisse ao mínimo a possibilidade de ocorrência de anomalias em funcionamento.

A massificação da produção que se verificou a partir daquela altura e a necessidade de se obterem elevados níveis de disponibilidade dos equipamentos durante a 2ª Guerra Mundial, introduziram outra postura na indústria, que dedicou outra atenção aos conceitos susceptíveis de contribuir para esses objectivos, tais como métodos de produção, desenvolvimento da investigação, estudo de processos e sequências de trabalho e reflexão sobre técnicas de manutenção. Assim, criou-se o conceito de que as acções de manutenção poderiam prevenir o aparecimento de avarias, nascendo daí a noção de “Manutenção Preventiva”.

Começa a ganhar forma uma nova disciplina, a Engenharia da manutenção, que se sustenta na aplicação de modelos matemáticos e estatísticos à análise e controlo da fiabilidade. O surgimento desta só foi possível pela difusão dos computadores a partir da década de 60 e respectiva aplicação intensiva nas técnicas de planeamento e na criação de processos científicos de controlo de sistemas.

A partir dos anos 80, com os avanços tecnológicos e aparecimento de novas iniciativas industriais “externas” à manutenção (como o JIT na produção manufacturada, necessidades de incremento qualitativo dos produtos e regulamentos mais restritos nas áreas de segurança e ambiente), passaram a medir-se os parâmetros de funcionamento, a avaliar a sua variação e a extrapolar o momento da falha, proporcionando o diagnóstico precoce de avarias. Mantendo o objectivo de evitar a avaria, nesta fase é retraído o modo de substituição sistemática em

contraponto com a substituição condicionada. Deste modo, parte dos elementos são substituídos atendendo ao seu estado de condição, proporcionando custos de exploração inferiores.

A figura seguinte resume a evolução das expectativas da manutenção ao longo do tempo em que a mesma funcionou/funciona de modo organizado:

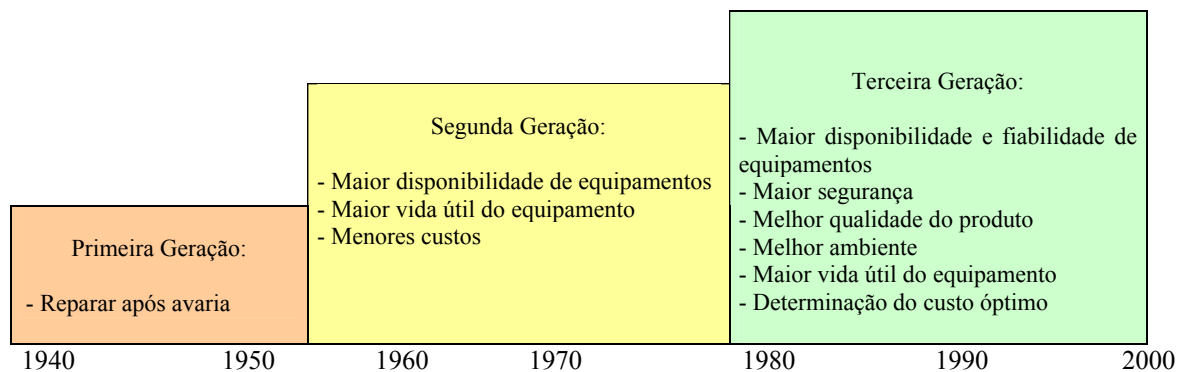


Figura 1.3 – O crescimento das expectativas da Manutenção – Adaptado de Moubray (1998)

As exigências presentes e futuras continuarão a acentuar-se sobre a melhoria do desempenho, nomeadamente maiores índices disponibilidade, fiabilidade e duração da vida útil dos equipamentos.

1.5.3.2 As novas abordagens da função manutenção

Investigações recentes põem sistematicamente em causa os conceitos tradicionais sobre vida útil e falhas, concluindo que cada vez menos a evolução da taxa de avarias está directamente relacionada com a idade do equipamento.

Actualmente, face às novas exigências colocadas à manutenção, de forma a assegurar a segurança e a competitividade dos equipamentos, e consequentemente das empresas, colocou-se a obrigatoriedade da introdução de novos conceitos de gestão da manutenção, aliados a poderosas ferramentas informáticas. Estas técnicas visam fundamentalmente uma maior consciencialização dos responsáveis e operadores dos equipamentos para a sua importância. Mas, para conhecer a real capacidade de um sistema produtivo, torna-se essencial conhecer os equipamentos utilizados no processo e a sua capacidade para atingir os objectivos de produção.

Ferreira (2002), entre as várias estratégias de manutenção, salienta:

- Terotecnologia;
- TPM – Total Productive Maintenance;
- RCM – Reliability-centered Maintenance;
- RBI – Risk-based Inspection;
- EUT – Eindhoven University of Technology Model;
- TQMain – Total Quality Maintenance.

Segundo o mesmo autor, o denominador comum destas estratégias está no apelo que fazem às Tecnologias de Informação para uma gestão proactiva da informação e ao “benchmarking” para estabelecimento de metas. Apresentamos sumariamente de seguida, justificadas pela sua vasta aplicação na indústria actual, as duas principais estratégias de manutenção: RCM e TPM.

O conceito TPM foi iniciado no Japão em inícios da década de 70, decorrente da implantação da técnica produtiva KanBan na empresa Nippon Denso, do grupo Toyota. A sua expansão para o exterior, nomeadamente para os Estados Unidos e Europa, teve grande impacto em muitas indústrias, especialmente no sector automóvel, onde se encontram excelentes exemplos.

Na sua génese o TPM, enquanto método de manutenção, integra a filosofia “Just in Time (JIT)/KanBan”. O JIT elege como objectivos principais o combate ao desperdício e a melhoria contínua e como estratégia primordial o combate ao excesso de “stocks” antes e depois do processo produtivo. A grande limitação do JIT é a aplicação a produções muito diversificadas ou em pequenos lotes.

O TPM, mais do que uma técnica ou um método, é uma atitude que envolve responsáveis e operadores numa união tendente para a maximização da eficiência global, através da eliminação dos factores das perdas.

As principais linhas caracterizadoras do TPM podem resumir-se, Cabral (1998):

- Busca da maximização da eficiência global das máquinas e dos equipamentos;
- Sistema total que engloba todo o ciclo de vida útil das máquinas e dos equipamentos;
- Sistema que congrega a participação de todos, a todos os níveis;

- Movimento motivacional, na forma de trabalho de grupo, através da condução de actividades voluntárias.

O envolvimento voluntário dos operadores nas acções preventivas de manutenção da “sua” máquina – inspecção, lubrificação e limpeza – concede um significativo contributo para que os mesmos se identifiquem com o funcionamento da mesma, aumentando a sua capacidade técnica de intervenção e facilitando o diagnóstico precoce. Este facto permite minorar a pressão sobre as equipas da manutenção e reduzir os tempos de paragem por avaria, donde resulta melhor clima social e maior disponibilidade dos equipamentos. Por outro lado, sendo o diagnóstico mais rápido criam-se condições para que as imobilizações sejam menores, com a contrapartida de novo incremento da disponibilidade. Por último, os conhecimentos adquiridos pelo operador com as acções de manutenção vão permitir ajustar a condução da máquina ao seu estado de condição, donde se obtém outro incremento da disponibilidade, desta vez por aumento da fiabilidade.

Resumindo, os objectivos do TPM são a eliminação de perdas:

- Perdas por avaria – as decorrentes das paragens ou quebras de função;
- Perdas por mudança de produto e afinações – as decorrentes dos ajustamentos do equipamento, para fabrico de outro produto;
- Perdas devido às ferramentas – as decorrentes de aspectos associados às ferramentas como o desgaste;
- Perdas por pequenas paragens – as decorrentes de paragens inerentes à quebra do ritmo de fabrico como os encravamentos;
- Perdas por quebra de velocidade – as decorrentes do abrandamento do ritmo de produção por qualquer anomalia momentânea;
- Perdas por produtos defeituosos – as decorrentes de produtos fabricados fora das especificações, bem como as eventuais recuperações;
- Perdas no arranque das máquinas – as decorrentes do início da produção até à estabilização do processo.

A manutenção praticada pelos operadores é o pilar mais importante do TPM e está consubstanciada na atitude oriental designada por 5 s's, fortemente apelativa aos valores da ordem, limpeza e disciplina. Os resultados esperados com o TPM abarcam, não só a disponibilidade dos equipamentos como referido, mas também a qualidade, a segurança e a redução dos custos, já apresentados como objectivos da manutenção. De acordo com Cabral

(1998), os resultados esperados com o TPM podem sintetizar-se em duas categorias, tangíveis e intangíveis.

Nos resultados tangíveis, enumeram-se:

- Alcançar as zero-avarias;
- Reduzir a degradação da fiabilidade;
- Reduzir os tempos de paragem da produção;
- Reduzir os defeitos de qualidade;
- Incrementar a produtividade;
- Reduzir os acidentes de trabalho;
- Economizar energia e outros recursos.

E nos intangíveis:

- Aumentar a motivação para o trabalho;
- Criar um ambiente agradável de trabalho;
- Melhorar a imagem da empresa.

O sucesso do TPM deve-se, em nosso entender, às peculiaridades da sociedade e cultura japonesas, substancialmente diferentes dos valores vigentes nas sociedades ocidentais. Por ser corrente a adopção de teses e estratégias sem o devido ajuste ao contexto em que as mesmas vão ser aplicadas, não podemos deixar de referir a ressalva de Sena e Pereira (2002) sobre a expansão do TPM, onde referem que a mesma deve ser feita com as devidas adaptações.

O RCM consiste numa metodologia iterativa racional e estruturada, baseada nos modos de avaria dos equipamentos e na gravidade das suas consequências. Este é definido formalmente como um processo usado para determinar as acções de manutenção requeridas para cada componente no contexto operativo em que está inserido. O seu nome foi assim definido “Reliability-centered Maintenance”, porque reconhece que a manutenção pode fazer mais do que garantir que um equipamento continue a atingir os períodos de manutenção/ reparação definidos pelo fabricante, já que estes são definidos de uma forma generalista. Tal estratégia visa assegurar, isso sim, que a utilização do equipamento atinge a sua fiabilidade inerente, combinando a experiência, conhecimento e esforço das pessoas que melhor o conhecem.

Esta estratégia surgiu na transição da segunda para a terceira geração de manutenção, em que diferentes investigações deitaram por terra a tese de que a principal causa de falha de um equipamento é o tempo de serviço. A aplicação pioneira do RCM surgiu nos aviões de grande porte que evoluíram a aeronáutica civil. Na década de 70 já era aplicada massivamente a todos os sistemas militares e na década de 80 a instalações industriais civis, nomeadamente centrais térmicas e termo-nucleares.

Sena e Pereira (2002) identificam o desenvolvimento e aplicação do RCM com base nas constatações práticas:

- Pouco impacto das revisões planeadas dos sistemas complexos sobre a fiabilidade, excepto nas situações em que ocorriam modos de falha dominantes;
- Ineficácia da manutenção programada para certos subsistemas e componentes.

A metodologia de aplicação desta estratégia assenta basicamente em três pilares:

- Análise profunda dos sistemas, definindo a performance desejada de cada equipamento no seu contexto de operacionalidade, bem como as formas de actuação da manutenção, de forma a alcançar a sua fiabilidade inerente;
- Avaliação das consequências das falhas, que a estratégia RCM prova serem de maior relevância que as características técnicas. Uma revisão estruturada das consequências de falhas, foca a atenção nas avarias que mais afectam a segurança e performance do equipamento;
- Aplicação de diagramas lógicos de decisão para a escolha das tarefas de manutenção, de acordo com as consequências das falhas e com a viabilidade técnica e económica das tarefas.

Esta síntese está de acordo com Silva, Resende e Ferreira (2002) que elegem a FMEA como o pilar do desenvolvimento da metodologia RCM. Numa abordagem crítica ao RCM, os autores classificam-no como uma ferramenta de fácil utilização, muito adequada para otimizar um programa de manutenção e dirigida a problemas resultantes de tarefas de manutenção inadequadas, incorrectas, ineficazes ou redundantes mas sem efeitos quando os problemas têm a sua génese em factores humanos, resultando em manutenção deficiente.

Nos Capítulos 2 e 4, serão abordados com mais pormenor os conceitos de RCM e FME(C)A, e as respectivas aplicações práticas no presente trabalho.

1.5.4 Conceitos e formas de manutenção

1.5.4.1 Algumas definições importantes

Ao adquirir-se um determinado equipamento, é expectável que a partir da sua entrada ao serviço ele corresponda às expectativas, que passam obrigatoriamente pela maior disponibilidade ao menor custo. Este paradigma leva-nos ao conceito de fiabilidade: *capacidade de um bem desempenhar a sua função específica em condições definidas e por um período de tempo determinado.*

No entanto, a Fiabilidade pode também ser expressa por uma probabilidade: *probabilidade de um item cumprir a função requerida, sob condições especificadas, durante um determinado intervalo de tempo determinado*, ou seja:

$$R(t) = \Pr(T \geq t) \quad (1.1)$$

Essa probabilidade de sobrevivência é função do tempo e representa-se por $R(t)$. Analogamente pode definir-se a “Infiabilidade” ou função acumulada de avarias e representá-la por $F(t)$, tal que:

$$F(t) = \Pr(T < t) \quad (1.2)$$

Dado que os dois estados do item são complementares, então pode escrever-se:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (1.3)$$

Seja $f(t)$ a função densidade de probabilidade de falha, definida por $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$ (1.4)

Teremos: $\frac{dR(t)}{dt} = -f(t)$ (1.5)

$$\text{ou } F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (1.6) \quad \text{e} \quad R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt \quad (1.7)$$

Voltaremos a este assunto no Capítulo 2, onde serão abordados os modelos da fiabilidade.

Falha ou avaria é entendido como a *cessação da capacidade de um item para realizar uma função específica*. Pereira (1996) considera que esta definição obriga a precisar o conceito de

função específica. Com efeito, não se deverá entender que um item só está avariado quando, de todo, o seu funcionamento é interrompido. De facto, deve considerar-se avaria quando não for possível realizar a função dentro das condições especificadas ou esperadas de funcionamento.

Enquanto indicador de fiabilidade, a taxa instantânea de avarias define-se como a variação do número esperado de avarias, verificado ao longo do tempo decorrido, e designa-se por $\lambda(t)$. Se representarmos por $N(t)$ o número de avarias acumuladas entre 0 e t , teremos:

$$\lambda(t) = \frac{d}{dt} [E\{N(t)\}] \quad (1.8)$$

Onde $E[N(t)]$ representa a esperança matemática de $N(t)$. Esta é uma variável aleatória discreta e $E[N(t)]$ a função contínua que mais aproxima $N(t)$.

A taxa instantânea de avarias também pode exprimir-se pela relação entre a derivada da função $F(t)$, função densidade de probabilidade $f(t)$, e a função fiabilidade $R(t)$, tal que:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.9)$$

A taxa de avarias pode ser decrescente, constante ou crescente. Na figura seguinte representa-se um padrão de avarias, conhecido por “curva da banheira”, onde cada uma daquelas variações corresponde a um período distinto, juventude, maturidade e obsolescência do item. No maior período representado, período de maturidade ou de vida útil, a taxa de avarias é aproximadamente constante, isto é, não depende do tempo. As avarias ocorrem aleatoriamente sendo independentes e identicamente distribuídas.

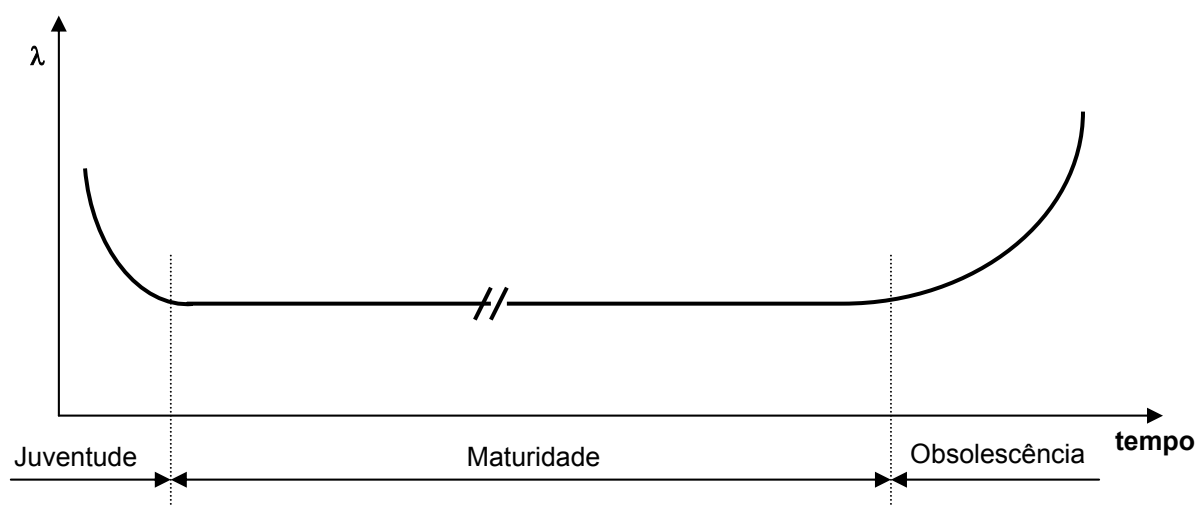


Figura 1.4 – Curva da banheira

Em termos práticos, é utilizada a taxa de avarias média que expressa o número de avarias por unidade de operação (horas, quilómetros, ciclos, etc.).

O MTBF, “Mean Time Between Failure” nos itens reparáveis e “Mean Time Before Failure” nos não reparáveis, representa a esperança matemática das avarias. Assim:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (1.10)$$

O MTBF é um indicador de fiabilidade, podendo ser definido como o inverso da taxa de avarias quando a mesma é constante.

A manutibilidade define-se como a probabilidade de recuperar um item e repô-lo nas condições normais de serviço no intervalo de tempo TTR (“Time To Repair”).

A manutibilidade é fundamentalmente uma característica de concepção e fabricação do item, onde todos os aspectos que sejam susceptíveis de influenciar a aptidão do mesmo para receber manutenção, devem ser tidos em conta.

O MTTR, “Mean Time To Repair”, é o valor médio dos TTR’s e pode representar:

- O tempo médio de reparação de uma avaria específica numa população de itens idênticos;
- O tempo médio de reparação de uma avaria num dado equipamento.

A taxa de reparação (μ) pode ser definida como o inverso do MTTR e estima-se, na prática, pela expressão:

$$\mu = \frac{\text{número total de reparações}}{\text{tempo total de reparações}} \quad (1.11)$$

A taxa de reparação e o MTTR são indicadores de manutibilidade.

Na figura seguinte, esquematizam-se os conceitos MTBF e MTTR.

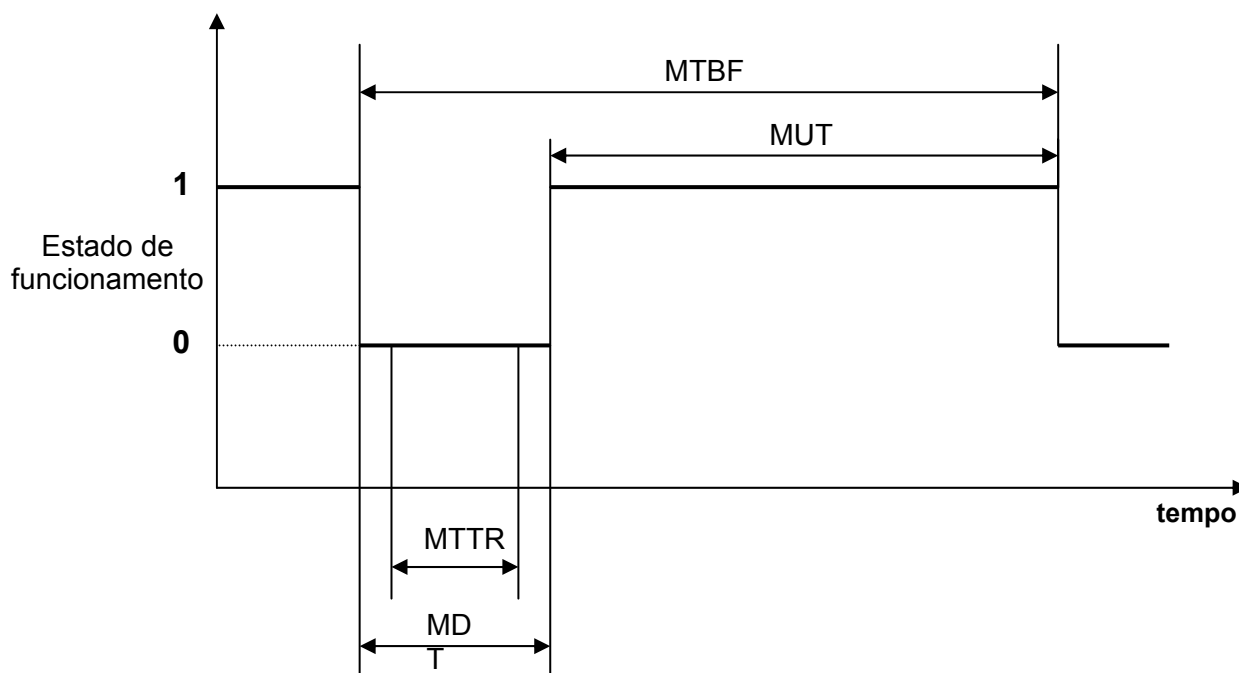


Figura 1.5 – MTTR e MTBF – Adaptado de Ferreira (1998)

O MDT, “Mean Down Time” ou média dos tempos de paragem, corresponde ao período, durante o qual o equipamento não se encontra disponível para assegurar a função requerida. Pode ser afectado por inúmeros factores como a dimensão da avaria, o tempo de reacção dos serviços da Manutenção, a logística de apoio e a reposição em marcha.

O MUT, “Mean Up Time” ou média do tempo de funcionamento, corresponde ao período em que o equipamento se encontra disponível para assegurar a função requerida. O MUT pode ser afectado pela ocorrência da avaria, pelos procedimentos de reposição em marcha e pela própria condução do equipamento.

Por disponibilidade, entende-se a probabilidade de um item, equipamento ou instalação se encontrar operacional no instante t , sabendo-se que no instante $t=0$ ele se encontra operacional.

O'Connor (1991) define disponibilidade estacionária como a proporção do tempo total em que o item está disponível. Considerando as taxas de avaria e de reparação constantes, ou seja:

$$\lambda = (MTBF)^{-1} \quad (1.12) \quad \text{e} \quad \mu = (MTTR)^{-1} \quad (1.13)$$

para o cálculo da disponibilidade estacionária, resulta:

$$D = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1.14)$$

Esta expressão relaciona as características próprias do equipamento, a fiabilidade e a manutibilidade. Por isso, é chamada de disponibilidade intrínseca ou inerente, sendo normalmente representada por D_i .

Analogamente, para a indisponibilidade estacionária teremos:

$$I = 1 - D = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (1.15)$$

Outra visão do cálculo da disponibilidade estacionária, é proposta por Modarres (1993), através da seguinte fórmula:

$$D = \frac{UT}{UT + DT} \quad (1.16)$$

Onde:

- UT (“Up Time”) é o período de tempo em que o item reúne as condições para ser utilizado;
- DT (“Down Time”) é o período em que o equipamento não está em condições de ser utilizado.

Admitindo que os modelos de disponibilidade seguem frequentemente uma distribuição exponencial, para sistemas não reparáveis o mesmo autor propõe:

$$D(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(\theta) d\theta\right] \quad (1.17)$$

onde $\lambda(\theta)$ representa a taxa de avarias instantânea.

A disponibilidade média, definida para um período determinado de tempo T, é calculada por:

$$\bar{D} = \frac{1}{T} \int_0^T D(t) dt \quad (1.18)$$

A disponibilidade operacional depende da disponibilidade intrínseca, acima referida, das políticas estabelecidas para a manutenção e da sua logística. É determinada pela seguinte expressão:

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \quad (1.19)$$

Garantir e aumentar a disponibilidade dos equipamentos constitui-se como o objectivo clássico de qualquer serviço de Manutenção. À semelhança da fiabilidade, também a disponibilidade é

afectada pela redundância. Se um sistema standby puder ser reparado enquanto o sistema primário assegura a função requerida, então a disponibilidade global é fortemente incrementada.

1.5.4.2 Formas e tipos de manutenção

Knezevic (1995) define tarefa de manutenção como um conjunto de actividades que devem ser levadas a cabo de uma forma específica, com o propósito de manter a funcionalidade do item/sistema.

Através da evolução histórica da manutenção foram identificadas duas atitudes básicas de actuação:

- Reactiva – associada a acções do tipo resolutivo, curativo ou correctivo, normalmente não planeadas, em que existe uma reacção ao acontecimento depois da sua ocorrência;
- Proactiva - associada a acções do tipo preventivo ou peditivo, normalmente planeadas.

De acordo com Ferreira (1998), podem considerar-se dois tipos de manutenção:

- Curativa – manutenção efectuada após avaria e que se subdivide:
 - Paliativa – reparações provisórias;
 - Curativa – reparações com carácter definitivo.
- Preventiva – manutenção efectuada com intenção de reduzir a probabilidade de avaria e que se subdivide:
 - Sistemática – pré-determinada;
 - Condicionada – medida, diagnóstico.

As representações gráficas mais comuns dos vários tipos e formas de manutenção são normalmente explicitadas em ordem aos modos planeado ou não planeado, preventivo ou curativo e reactivo ou proactivo, sendo frequentemente omitidas as relações de interdependência entre as subdivisões daqueles modos bem como a forma de intervenção “melhoramento” que, numa perspectiva de aumento da vida útil, assume importância crescente. Deste modo, esquematizam-se de seguida, em nosso entender de uma forma substancialmente mais clara quando comparada com as representações gráficas mais comuns, as diversas formas de actuação da manutenção:

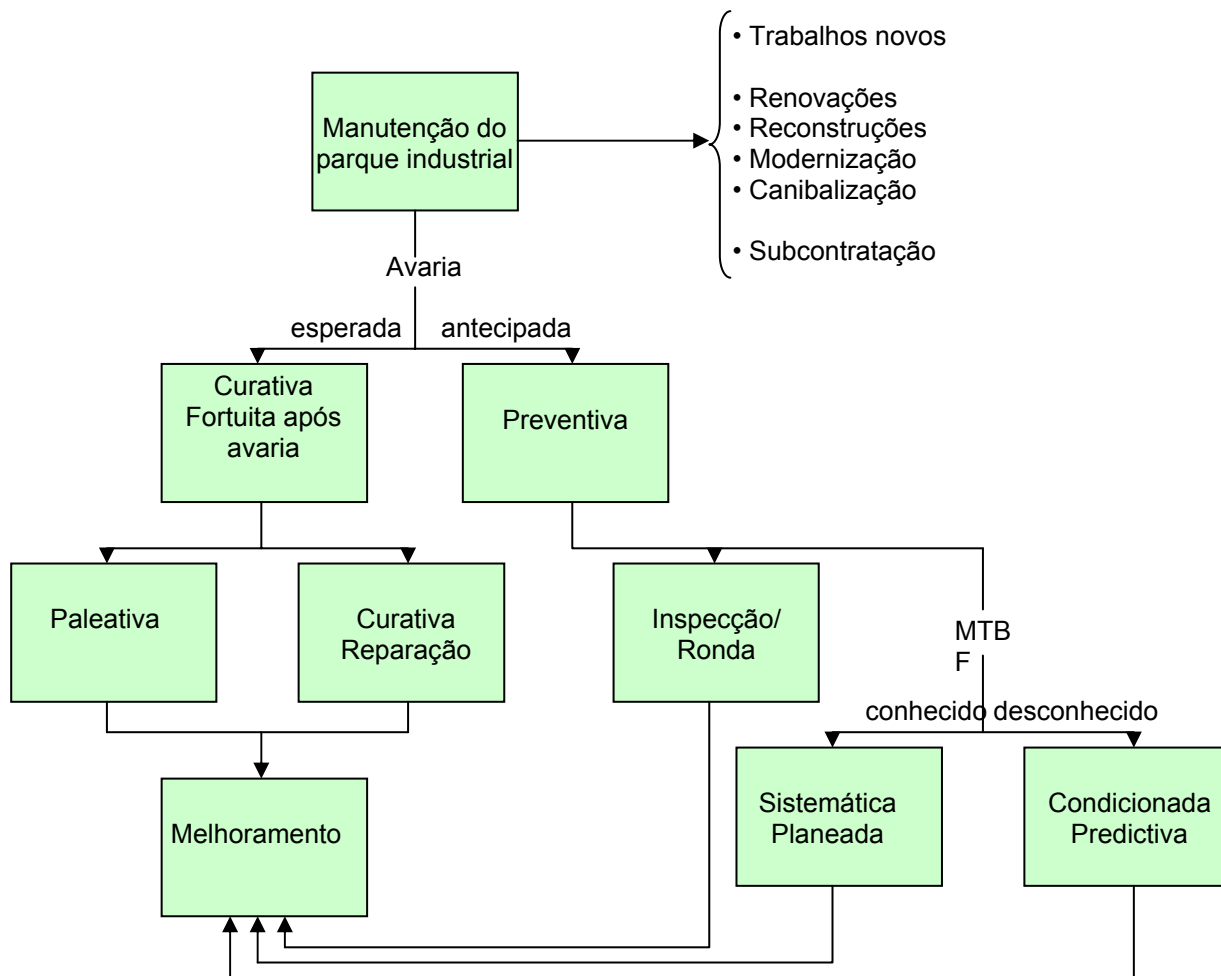


Figura 1.6 – Formas de intervenção da manutenção – Adaptadas de Monchy (1996)

Os trabalhos novos são frequentemente atribuídos à função manutenção através do conjunto das responsabilidades de instalação de novos equipamentos ou da expansão dos existentes.

A renovação consiste numa inspeção completa de todos os componentes, análise dimensional, substituição de peças deformadas, verificação das características e eventual reparação das peças e subconjuntos avariados. A renovação surge como uma das consequências possíveis de uma revisão geral.

A reconstrução consiste na colocação do equipamento num estado, normalmente definido por um Caderno de Encargos, que impõe a substituição das peças vitais. A reconstrução surge, muitas vezes, combinada com uma renovação.

A modernização consiste na substituição de acessórios, existentes no equipamento na sua forma original, por outros com aperfeiçoamentos técnicos.

A canibalização consiste na subtracção de peças, acessórios, órgãos ou sistemas a equipamentos abatidos do activo. É normalmente praticada quando se dispõem de vários equipamentos iguais, constituição de lote de peças de reserva, ou quando a parte retirada, por si só, pode ser valorizada.

A inspecção ou ronda consiste na vigilância regular, programada e de curta frequência dos equipamentos. Está associada á realização de pequenos trabalhos de curta duração, relativamente pouco exigentes quanto à arte, e pode exigir curtos períodos de imobilização do equipamento. Compreende operações de lubrificação, exames sensoriais e testes, pequenas reparações, afinações e substituições simples e ainda o controlo de alguns parâmetros de funcionamento, sendo por isso considerada, Ferreira (1998), como um tipo de Manutenção entre a preventiva sistemática e a curativa e entre aquela e a condicionada.

A Manutenção Curativa é definida como o conjunto de tarefas realizadas, com o intuito de repor a funcionalidade do equipamento, após a perda da sua função ou desempenho. Uma operação típica de Manutenção Curativa consiste na execução das seguintes actividades:

DETECÇÃO DA FALHA	LOCALIZAÇÃO DA AVARIA	DESMONTAGEM	REPARAÇÃO E SUBSTITUIÇÃO	MONTAGEM	MEDIÇÕES E TESTES	VERIFICAÇÃO
-------------------	-----------------------	-------------	--------------------------	----------	-------------------	-------------

Figura 1.7 – Operação típica de Manutenção Curativa – Adaptado de Knezevic (1997)

Enquanto método único, é desinteressante pelas consequências que comporta, seja pela imprecisão da disponibilidade dos equipamentos, pelos custos das reparações ou das peças de reserva e pela irregular carga de trabalho. [Ferreira (1998)]

No entanto e segundo o mesmo autor, aquela forma justifica-se quando os custos indirectos da avaria são mínimos, sem afectar a segurança e a produção de forma critica, quando é possível adoptar uma política de renovação frequente dos equipamentos ou enquanto complemento residual da Manutenção Preventiva.

A Manutenção Preventiva pode ser definida como a manutenção efectuada antes da ocorrência da avaria. Como referido, reveste-se de duas formas diferentes:

- Sistemática – substituição planeada, concretizada com o vencimento de um prazo;

- Condicionada – substituição decorrente do acompanhamento e apreciação da degradação de parâmetros de funcionamento até um valor considerado insatisfatório.

De acordo com Ferreira (1998) a Manutenção Preventiva visa os seguintes objectivos:

- Aumentar a fiabilidade dos equipamentos, reduzindo as avarias em serviço: redução de custos devido a avarias, aumento da disponibilidade;
- Aumentar a duração de vida eficaz de um equipamento;
- Reduzir e regularizar a carga de trabalho, logo melhorar o planeamento dos trabalhos e as relações com a produção;
- Facilitar a gestão de “stocks” através da maior previsibilidade dos consumos;
- Assegurar a segurança das intervenções, introdução das metodologias adequadas, menor improvisação;
- Reduzir as avarias inesperadas, melhoramento do clima social.

Para que os objectivos da Manutenção Preventiva resultem em benefícios efectivos, ressalta desde já que a maior dificuldade está na resposta à questão “qual a periodicidade para intervir?”. Para alguns equipamentos, a resposta pode ser dada pelos fabricantes. Numa óptica de optimização devem ser utilizadas as informações internas, obtidas a partir das visitas preventivas. Estas informações podem provir de observações que põem em evidência uma lei de degradação ou da análise estatística, no caso de avarias súbitas e repetitivas. Surge assim a importância do parâmetro “tempo entre avarias” ou TBF como contributo essencial para o elemento definidor daquela periodicidade, o MTBF.

A Manutenção Preventiva Sistemática é efectuada de acordo com um plano e um programa estabelecidos. O primeiro é determinado pelo tempo decorrido ou pelo número de unidades de utilização e tem por objectivos garantir e manter o desempenho dos equipamentos num nível elevado. O segundo é determinado pelo conjunto das acções a desenvolver nomeadamente lubrificações, verificações e substituições. Apresentamos de seguida, as actividades típicas constituintes de uma operação de Manutenção Preventiva Sistemática:

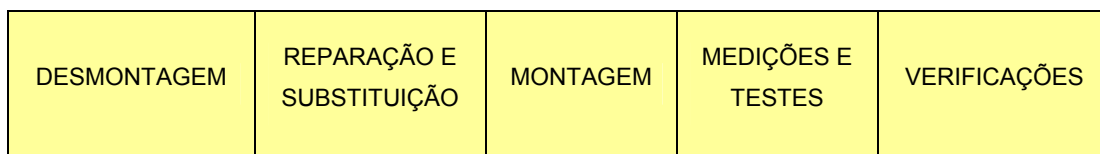


Figura 1.8 – Operação típica de Manutenção Preventiva Sistemática – Adaptado de Knezevic (1997)

A Manutenção Preventiva Sistemática é por excelência aplicada nos seguintes casos:

- Equipamentos com elevados custos de avaria;
- Equipamentos em que a ocorrência de uma avaria pode implicar a paragem da instalação;
- Equipamentos em que a ocorrência de uma falha pode colocar em causa a segurança das pessoas e do ambiente;
- Equipamentos em que a ocorrência de uma avaria pode provocar paragens longas.

Sendo a gestão da Manutenção Preventiva Sistemática relativamente fácil, Ferreira (1998) aponta-lhe um defeito: o facto de o MTBF ser considerado constante e não decrescente, dada a sua evolução com o tempo de utilização. Acrescentaríamos ainda que a necessidade de “fazer coincidir no tempo” os vários MTBF’s, correspondentes a outros tantos itens a substituir, para que todas as operações se realizem num único momento, minorando a imobilização do equipamento, é outro defeito particular deste modelo.

A Manutenção Preventiva Condicionada consiste na medição de parâmetros e acompanhamento da evolução do desempenho e funcionalidade de um equipamento. Ao ser atingido o valor de alarme, o órgão ou componente com evidência experimental de avaria eminente, é substituído ou reparado preventivamente. Na Figura 1.9 constam as actividades constantes de uma operação típica de Manutenção Preventiva Condicionada:

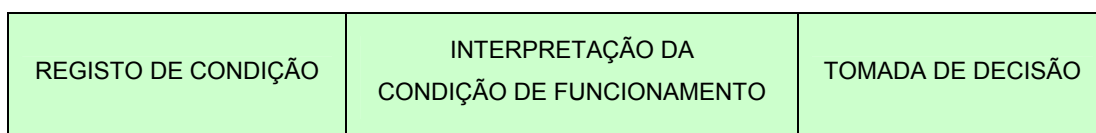


Figura 1.9 – Operação típica de Manutenção Condicionada – Adaptado de Knezevic (1997)

Não obstante as vantagens deste modelo de manutenção, o mesmo apresenta alguns constrangimentos:

- Necessidade de estabelecer uma correlação entre um parâmetro mensurável e o estado do sistema;
- Determinação do valor de alarme.

Na Manutenção Condicionada, existem dois tipos de parâmetros de monitorização distintos:

- Larga ou de vigilância periódica onde a leitura dos parâmetros é feita com uma determinada periodicidade, normalmente coincidente com as visitas preventivas (tensão da correia de um alternador, características do óleo de um motor, verificação de níveis de fluidos lubrificantes e de refrigeração, etc.);
- Integrada ou de auto-vigilância executada pelo operador do equipamento (sistemas de travagem, espessura de pneus, etc.).

A Manutenção Preventiva Condicionada, cujo lema se resume ao “se funciona bem não mexa”, apresenta algumas vantagens em face à Sistemática, que se resumem:

- Utilização plena do potencial dos órgãos e equipamentos;
- Redução do consumo e do stock de peças sobresselentes;
- Redução do número de intervenções ao estritamente necessário;
- Redução substancial da componente Manutenção Curativa residual.

E as desvantagens:

- Dificulta o planeamento das reparações e das renovações dos “stocks” de peças sobresselentes;
- Requer pessoal mais habilitado;
- Requer bases de tratamentos de dados mais potentes;
- Implica uma gestão individualizada da programação das intervenções;
- Introduce a necessidade de controlar os equipamentos de medida.

Na Figura 1.10 anterior pretende-se ilustrar a evolução ao longo do tempo de um órgão ou equipamento, submetido à Manutenção Preventiva Condicionada. São visíveis duas curvas de degradação distintas, embora progressivas, que conduzem à substituição preventiva. Após cada intervenção é retomado o serviço com um nível de desempenho óptimo. A medição dos parâmetros é entendida como efectuada em simultâneo com as visitas preventivas.

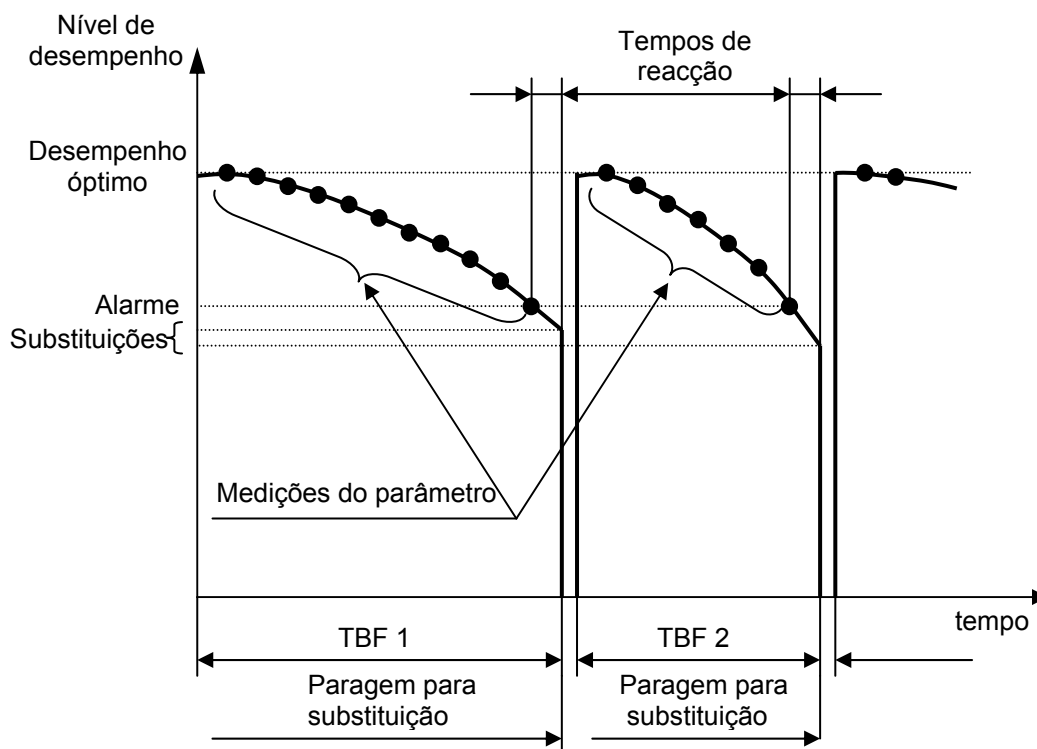


Figura 1.10 – Manutenção Preventiva Condicionada – Adaptado de Monchy (1996)

Em face ao exposto, podemos concluir que não há um tipo de manutenção ideal, existindo sim uma evidente complementaridade entre os diferentes tipos de manutenção.

1.5.5 Gestão da manutenção de sistemas

Knezevic (1995) afirma que a consideração primária de todas as decisões de manutenção não deverá ser a falha de um determinado equipamento, nem a sua frequência de falha, mas sim as consequências dessa falha no sistema envolvente e no meio ambiente.

A secção da engenharia com responsabilidade na análise de falhas deverá providenciar, segundo critérios científicos, a elaboração de um documento com os tipos de avarias mais significativos nos itens/ sistemas. Seguidamente, cada ponto da lista de itens constantes do sistema deverá ser analisado com focalização na falha, e, em particular, deverão ser registadas as consequências da mesma. A ferramenta de engenharia mais comum para desempenhar esta função é a já mencionada FMECA (“failure mode effect and criticality analysis”). Esta consiste numa análise de fácil compreensão, cujo maior impacto se traduz na fase de concepção dos equipamentos em geral e, particularmente, em decisões de manutibilidade e fiabilidade. Os resultados da análise dos itens em estudo são divididos em dois grupos, de acordo com a relevância das consequências de falha. São eles, segundo Knezevic (1997):

- Itens significativos para a segurança (ISS's) – São os itens evidenciados pela FMECA, cuja propensão para causar danos biológicos (vida, saúde e ambiente) requer controlos especiais, no sentido de alcançar uma baixa probabilidade individual de falha, ou seja que esta probabilidade seja aceitável. São normalmente avaliados na fase de concepção, sendo prática corrente a introdução de redundâncias, tolerâncias apertadas, coeficientes de sobredimensionamento, equipamentos de segurança e planos de contingência;
- Itens significativos para a utilização (ISU's) – São os demais que não se apresentam como críticos à luz da segurança, porém a sua falha causa impactos severos na cadeia de funcionalidade dos sistemas, requerendo controlo eficaz, devido a objectivos económicos. As consequências de falha deste tipo de itens, podem englobar de forma significativa, factores como o rendimento, custo de manutenção, disponibilidade operacional, reputação, orgulho e os objectivos globais das empresas.

1.5.5.1 Selecção dos tipos de manutenção

No sub capítulo 1.5.4.2 abordaram-se os diversos tipos de Manutenção, de acordo com a significância das consequências de cada modo falha. Deverá ser seleccionado o tipo de manutenção a aplicar a cada item. Os critérios de engenharia com maior amplitude de aplicação, no que respeita à quantificação das consequências dos modos de falha associados aos itens significativos para a segurança, são o nível de fiabilidade, o *ratio* de perigo biológico e a probabilidade de falha. Relativamente aos itens significativos para a utilização, os critérios são:

- Mínimo: custo de manutenção, tempo de reparação, tempo de imobilização;
- Máximo: lucro, tempo entre falhas, receitas, disponibilidade.

Para seleccionar o tipo de manutenção mais adequado a cada item, é necessário co-relacionar os seus requisitos operacionais e as suas características de construção inerentes, expressadas em fiabilidade, manutibilidade, disponibilidade e outras medidas similares. A melhor forma de alcançar este propósito é construir modelos matemáticos que definam esse co-relacionamento e providenciem a base para todas as análises necessárias.

Uma aproximação de engenharia ao controlo do processo de manutenção comporta vantagens significativas relativamente ao tradicional comportamento reactivo na forma de gerir a manutenção. São feitas análises após a ocorrência de avarias e a tomada de medidas é realizada com base na autoridade/ experiência dos órgãos de decisão.

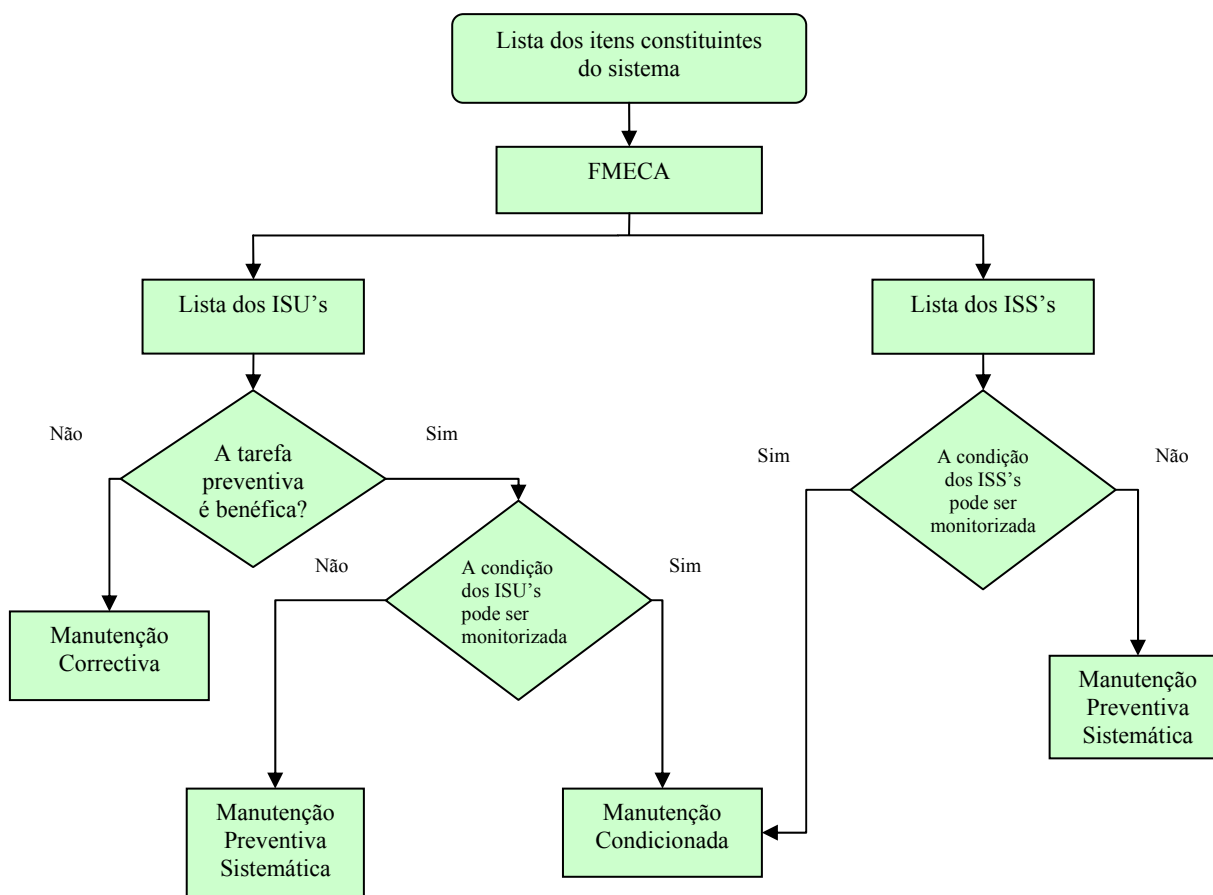


Figura 1.11 – Algoritmo para a selecção do tipo de manutenção óptimo – Adaptado de Knezevic (1997)

1.5.6 Custos da manutenção

Ferreira (1998) considera dois tipos de custos em manutenção, directos e indirectos. Os custos directos, numa dada intervenção, resultam de:

- Mão-de-obra: produto do tempo gasto pela taxa horária;
- Peças substituídas e consumíveis utilizados: valor da factura de compra, mais os custos de transporte e execução da encomenda;
- Trabalhos subcontratados: valor da factura emitida pela entidade prestadora do serviço, acrescido de uma parcela, decorrente do apoio técnico como elaboração do Caderno de Encargos, selecção do subcontratante ou controlo da qualidade;
- Contratos de manutenção: valor constante do clausulado referente às obrigações pecuniárias, ao qual poderá ser, eventualmente, acrescida uma parcela onde se incluam custos com a avaliação e negociação do contrato ou de posterior verificação da conformidade;

- Custos globais da manutenção: custos fixos e acessórios à manutenção como o apoio administrativo, climatização ou telefones;
- Custos de posse de “stock”: gastos inerentes à posse dos materiais em armazém, bem como à existência do próprio armazém e do pessoal adstrito;
- Custos de posse de ferramentas e máquinas: custos caracterizados por uma taxa de amortização, compreendendo uma desvalorização, por uso ou obsolescência, e um valor residual.

Por outro lado e ainda segundo Ferreira (1998), os custos indirectos ou de perda de produção englobam:

- Custos de desclassificação: consideram perdas dos produtos não fabricados, matérias-primas em curso de transformação, perdas de qualidade e perdas de produtos desclassificados;
- Custos de inactividade: inerentes à mão-de-obra da produção, quando inactiva;
- Custos de inoperacionalidade: despesas da amortização dos equipamentos parados;
- Despesas induzidas: custos por não cumprimento dos prazos, penalidades, perda de clientes ou fraca imagem, por perda da qualidade na fabricação e por arranque dos processos de produção.

Cabral (1998) enfatiza que os verdadeiros custos da manutenção, ou aqueles que exprimem realmente o desempenho da função, não são os custos directos. Diríamos que estes custos são a parte visível e mais facilmente quantificável da totalidade dos custos da manutenção.

A grandeza de algumas das rubricas dos custos indirectos, não obstante as dificuldades na sua quantificação, pode ser inferida através de rácios que exprimam uma relação entre parâmetros visíveis e não visíveis. Estes rácios ou indicadores de desempenho, constituem uma das técnicas mais usadas no “benchmarking”.

Monchy (1996) complementa a abordagem dos custos verificando a existência de um nível óptimo de manutenção preventiva para o custo mínimo de avaria. Para o efeito, considera que os custos de paragem de produção ou indirectos, associados à avaria, evoluem de forma inversa aos custos de manutenção.

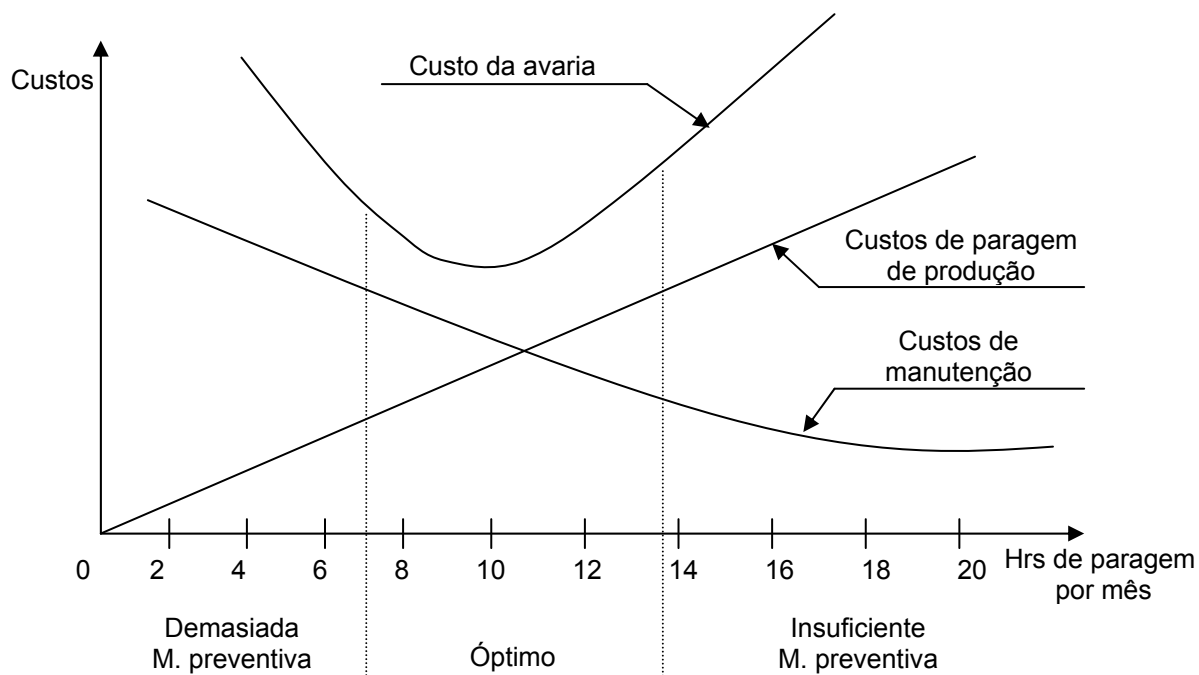


Figura 1.12 – Optimização dos custos – Adaptado de Monchy (1996)

Naquilo que poderíamos classificar por tentativa de simplificação, este modelo engloba na mesma componente de custo os dois tipos de manutenção preventiva, a sistemática e a condicionada. Apesar do carácter preventivo comum aos dois tipos, cada um determina resultados a custos diferenciados. A execução da despesa pode ser entendida constante ao longo do tempo no tipo preventivo sistemático e quase sempre concentrada no instante $t=0$ no tipo preventivo condicionado.

O descrito tem como denominador comum a observância dos custos à “posteriori”, ou seja, somente após a realização da despesa é que é apreciado o valor relativo dos custos. Em Manutenção este aspecto é da maior importância dado o carácter imprevisível de grande parte das avarias, com as consequências que daí advêm, não só em relação à componente custo directo mas fundamentalmente em relação aos custos de imobilização e de indisponibilidade. Na óptica das empresas, mais importante do que saber quanto custou é saber quanto vai custar. Aquando da tomada de decisões relativamente à gestão dos equipamentos devem ser considerados os custos de manutenção, das avarias, o custo médio de funcionamento, o custo global de posse, os custos acumulados, a verificação do período de lucro, em suma; a observação dos acontecimentos de ordem económica ao longo da utilização.

A análise LCE (“Life Cycle Engineering”) visa a optimização da gestão, já que o seu objectivo principal é criar sistemas competitivos, minimizando as suas deficiências e o custo do ciclo de vida.

A consideração do custo do ciclo de vida do equipamento ou LCC (“Life Cycle Costing”), que engloba todos os custos desde o projecto até ao abate, é uma abordagem dos custos de grande importância.

O objectivo da análise LCC é a escolha da abordagem mais favorável em termos de custos, para que sejam menores durante a vida útil do equipamento. O LCC permite ao técnico a justificação para uma aquisição ou a escolha de um processo, baseando-se nos custos totais e não nos custos iniciais. No LCC são consideradas quatro componentes de custos:

- Custos de investimento;
- Custos de manutenção;
- Custos de operação;
- Custos de desactivação.

Não obstante diversas excepções, os custos de investimento representam uma pequena parte dos custos de LCC, como se representa na figura seguinte:

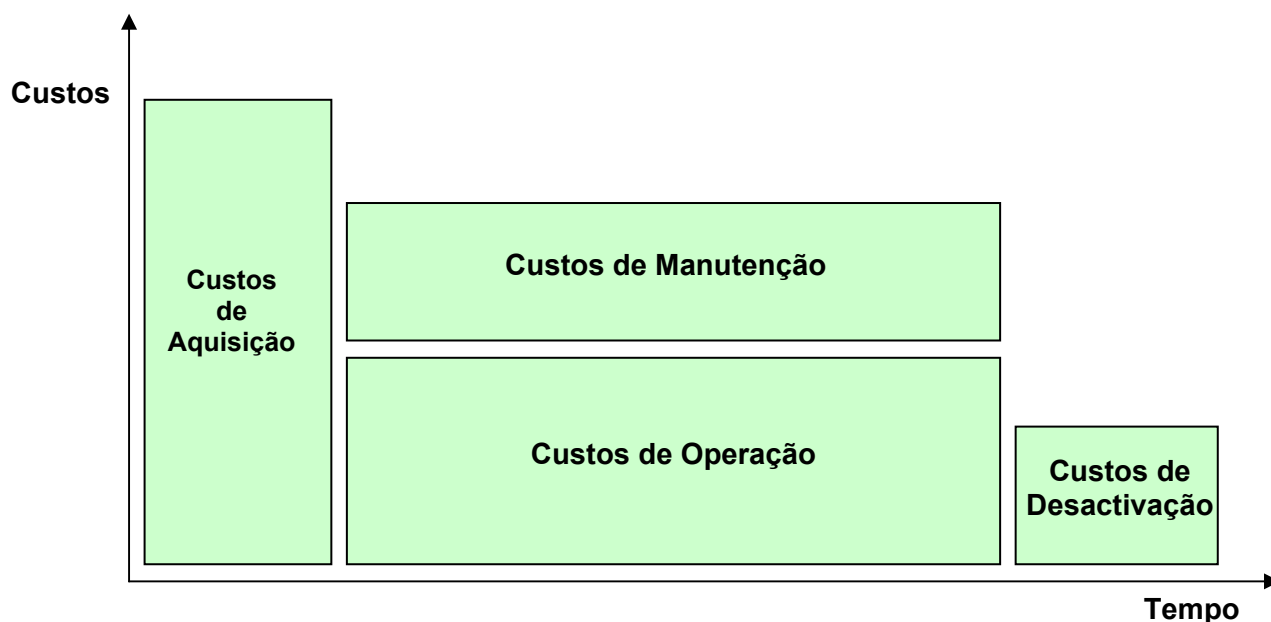


Figura 1.13 – Custo de ciclo de vida – Adaptado de Assis (1997)

Monchy (1996) caracteriza o custo de posse de um equipamento, determinando a respectiva zona de rendibilidade, conforme se verifica na figura seguinte:

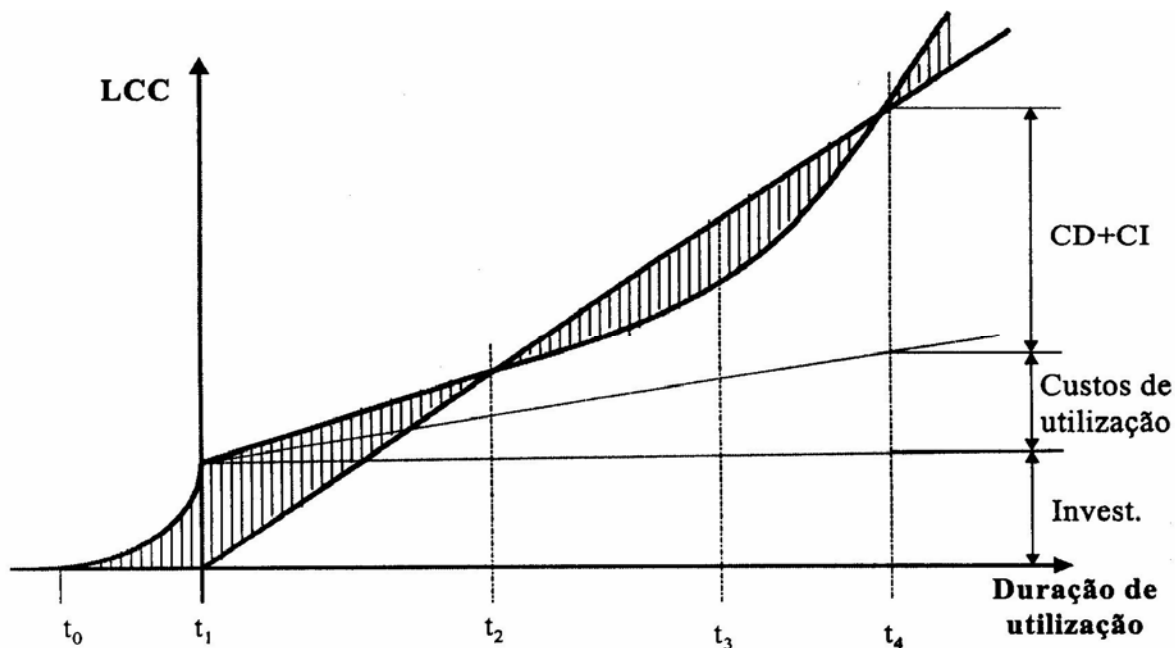


Figura 1.14 – Custo de posse de um equipamento – Adaptado de Monchy (1996)

Onde:

t_0 – Decisão de compra

t_3 - Rendibilidade máxima

t_1 - Arranque

t_4 - Recondicionamento

t_2 - Fim da amortização

$(t_4 - t_2)$ – Período de rendibilidade

Neste gráfico está contido todo o ciclo de custo de vida do equipamento. No entanto, esta análise pode ser utilizada em equipamentos que estejam no decurso da sua vida útil. Para tal, basta que disponhamos dos custos acumulados até à data em que se realiza o estudo.

1.6 Organização da tese

Este trabalho é composto por cinco capítulos:

No primeiro capítulo, que se entende subdividido em três partes, procuramos introdutoriamente transmitir uma perspectiva histórica dos comboios e fazer o enquadramento do problema através de breves notas sobre os aspectos fundamentais para o desenvolvimento das empresas na economia moderna, nomeadamente no sector ferroviário; na segunda parte definem-se os conceitos gerais e particulares, os últimos referentes ao objecto técnico em causa, bem como os objectivos a alcançar; na terceira parte apresenta-se uma síntese

bibliográfica onde se abordam a evolução, as técnicas, os custos, as estratégias e a organização da manutenção.

No segundo capítulo é abordada a fiabilidade nas suas diversas vertentes: a operacional, as técnicas quantitativas e a sua co-relação com a manutenção.

No terceiro capítulo é feita a apresentação do equipamento de estudo e da empresa onde o mesmo se realiza.

O quarto capítulo reporta concretamente ao caso em estudo, com aplicação dos modelos teóricos explicitados no segundo capítulo.

Finalmente, no quinto e último capítulo, são apresentadas as conclusões referentes ao caso estudado e possíveis sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2 – FIABILIDADE – Quantificação e co-relação com a manutenção

2.1 Manutenção Centrada na Fiabilidade

Dando seguimento aos temas abordados no sub capítulo 1.5.3.2, definimos sinteticamente RCM (“Reliability-centered Maintenance”) como o processo utilizado para determinar os requisitos de manutenção de um determinado bem físico, no seu contexto operacional.

A visão RCM (manutenção que trata da preservação da função dos bens), ao distinguir-se da visão tradicional (manutenção que trata da preservação física dos bens), aborda sete questões básicas, cuja resposta constitui a metodologia daquela estratégia. Assim:

- Quais as funções e performances do equipamento, no seu contexto de operacionalidade?
- De que forma é um bem incapaz de cumprir as suas funções?
- O que causa cada avaria funcional?
- O que acontece quando cada avaria ocorre?
- Qual a importância de cada avaria?
- O que pode ser feito para prever ou prevenir cada avaria?
- O que deve ser feito caso não se encontre a adequada tarefa proactiva?

Formulamos assim a resposta, para cada uma das questões:

- Funções: devem ser definidas as funções e a performance standard requerida de cada equipamento no seu contexto de operacionalidade. É dada particular ênfase à quantificação da performance standard do equipamento, não devendo esta ser demasiado superficial.

- Falhas funcionais: é definida como a incapacidade de um componente/ equipamento atingir a sua performance standard requerida. As falhas funcionais associadas a cada Função devem ser estabelecidas.

- Modos de falha: os modos de falha que causam cada falha funcional são identificados. Estes são as razões que a engenharia dá às falhas de um componente/ equipamento. A estratégia RCM concentra-se na determinação da raiz da causa da falha; esta é a razão pela qual as pessoas que “melhor conhecem o equipamento” devem aplicar uma análise RCM.

- Efeitos de falha: a cada modo de falha são associados os diversos efeitos de falha, isto é, nos documentos registam-se as consequências de cada modo de falha. Mais uma vez se reforça a importância que tem o trabalho ser executado por alguém que lida directamente com o equipamento, sob pena de serem extraídas ilações erradas para efeitos de manutenção.

- Consequências da falha: são caracterizadas por quantificar a importância de cada modo de falha. Basicamente, as consequências de falha estão agrupadas de 4 formas:

- 1- “Falhas escondidas”, que em si não têm consequências directas, mas expõem o sistema a riscos graves ou muito graves;
- 2- Consequências de carácter ambiental ou de segurança, em que uma falha possa ferir ou matar alguém, ou violar de forma grosseira alguma regra ambiental;
- 3- Consequências operacionais, cuja falha afecte o output, qualidade do produto, custos de operacionalidade ou satisfação do cliente;
- 4- Consequências não operacionais, em que o único custo associado à avaria é o custo directo de reparação.

- Operações preventivas: usando um algoritmo de decisão fortemente desenvolvido, cada modo de falha é analisado para determinar uma operação de manutenção preventiva ou preditiva aplicável. Determinam-se funções apenas se as mesmas incorporarem a capacidade de prevenir ou prever a falha, sendo definidas como:

- 1- Tarefas em funcionamento, em que um item continua ao serviço sob a condição de desempenhar a(s) sua(s) performance(s) standard;
- 2- Reparação agendada, onde um item é beneficiado/ remanufacturado ou substituído numa data específica, mediante a análise de condição na altura.

Se uma tarefa é merecedora de ser realizada ou não, depende das consequências da avaria. Para modos de falhas em que uma ou múltiplas falhas têm consequências operacionais ou não operacionais, a decisão é meramente económica – ou seja, é mais económico deixar o equipamento avariar ou actuar ao nível da reparação? Relativamente aos modos de falha em que o risco é ambiental ou de segurança, a decisão é baseada na resposta à questão: a tarefa de manutenção vai ou não reduzir o risco de falha para níveis aceitáveis?

- Operações alternativas: são determinadas pela estratégia RCM no caso de não aplicabilidade de tarefas de manutenção preditiva ou preventiva. São estas:

- 1 - Procura de falha, que consiste em verificar funções “escondidas” periodicamente no sentido de determinar a sua operacionalidade;
- 2 - Conceber novo equipamento, caso exista a impossibilidade de estabelecer qualquer tarefa de manutenção que diminua o risco de falha e suas consequências para valores aceitáveis;
- 3 – Manutenção curativa, no caso do modo de falha não causar consequências ambientais ou de segurança, ou ainda se os custos de aplicação de uma tarefa de manutenção (caso exista alguma) sejam mais elevados do que reparar a avaria e as suas consequências.

A grande força da estratégia RCM é o caminho que traça, providenciando critérios precisos e de fácil compreensão, com o intuito de decidir quais (se existirem) as tarefas de manutenção tecnicamente aplicáveis e merecedoras (entenda-se economicamente) no contexto de operacionalidade do equipamento. Cria ainda a decisão da regularidade de aplicação das tarefas, definindo igualmente quem as deverá executar.

2.1.1 O envolvimento das pessoas na estratégia RCM

Os técnicos de Manutenção por si só não conseguem responder às sete questões colocadas pela estratégia RCM. Por esta razão, devem ser constituídas equipas de trabalho, que se propõem a determinar os requisitos de manutenção de cada equipamento. Essas equipas devem incluir, no mínimo, um técnico de Manutenção e um utilizador do equipamento. A experiência global dos membros do grupo de trabalho é de menor relevância, face ao seu conhecimento do equipamento em estudo, ou seja, é de toda a conveniência que os elementos que realizam cada estudo específico, sejam os que “melhor conhecem o equipamento”. É também fundamental que o grupo de trabalho conheça, com algum detalhe, o processo RCM.

Cada grupo de trabalho, desenvolve a aplicação do processo, sob a liderança de um especialista em RCM, conhecido como o “facilitador”, cuja função é assegurar que a estratégia é aplicada correctamente, que existem consensos de razoabilidade no grupo e que nenhum equipamento significativo é tratado com superficialidade. Imediatamente após cada trabalho se encontrar completo, os gestores de topo com responsabilidade geral pelos equipamentos em estudo devem certificar-se que a análise RCM foi aplicada correctamente. Não será sua função auditar pessoalmente o trabalho realizado, pois poderá ser delegado em alguém da sua confiança.

2.1.2 Constrangimentos de implementação e aplicação da estratégia RCM

Apesar das vantagens evolutivas introduzidas na manutenção industrial através deste conceito, existem obstáculos para obter conclusões bem sucedidas da sua aplicação: as objecções principais encontradas são o prazo alargado de implementação, desde a análise inicial à obtenção de resultados positivos no funcionamento dos equipamentos, e também as dificuldades de alteração de “mentalidades”, desde os responsáveis pela manutenção até aos operadores do equipamento.

Outra das fragilidades da metodologia RCM está consubstanciada no facto de não contemplar a gestão de modos de falha com funções de risco com diferentes formas, apontando-se, a título de exemplo, um componente com função de risco decrescente, ao qual não se deverão aplicar substituições preventivas. Contudo, pensamos que neste caso ainda se justifica a substituição preventiva se estiver em causa a segurança.

A outra limitação desta metodologia incide sobre o carácter meramente qualitativo do diagrama de decisão, não escalonando de forma clara e quantificada as diversas situações. Assim, em detrimento da FMEA é proposto o recurso à FMECA, introduzindo-se a componente quantitativa, o Índice de Severidade, que irá determinar os equipamentos nos quais a prioridade de actuação é maior.

2.1.3 O tempo e esforço requerido

Não existem “fórmulas mágicas” na resolução de problemas efectivos de Manutenção. Em casos práticos, os melhoramentos na gestão de equipamentos requerem uma persistência e uma paciência que a indústria moderna de manufactura tem demonstrado, tornando-se assim efectivos e eficientes. As organizações que introduziram mudanças nos métodos de manufactura levaram vários anos a fazê-lo e requereram uma mudança massiva de cultura e atitude às suas classes laborais. Neste aspecto, o mundo da Manutenção ainda se encontra um degrau abaixo da assimilação, solicitando mudanças comportamentais similares.

2.1.4 A mudança de “mentalidades”

Perante a impossibilidade de apresentar uma lista com todas as mentalidades que deverão ser ultrapassadas, pode-se dizer que o maior obstáculo que encontramos, é a visão conservadora ou tradicionalista de que *sempre aplicámos desta forma a manutenção no passado, então deveremos fazer o mesmo no futuro.*

Outras mentalidades enraizadas no meio social de manutenção carecem de actualização:

- *A visão de que um programa de manutenção deverá ser largamente suportado por reparações programadas.* As reparações programadas podem ser apropriadas em determinadas circunstâncias, mas em certos casos tornam-se até contra produtivas. Sempre que aplicável, as operações de manutenção devem ser baseadas na análise de condição, que é normalmente mais efectiva;
- *A assumpção de que um programa de manutenção bem sucedido, apenas pode ser estabelecido quando o histórico da sua taxa de avarias é conhecido.* Raramente é adequado ou suficiente, o histórico das avarias: esperar até obter dados suficientes é impraticável (os equipamentos devem operar hoje), para além do facto de que, o contexto operacional de funcionamento do equipamento evoluiu, possivelmente para condições incomparáveis. Acrescentamos ainda que o esforço requerido para manter o histórico actualizado diariamente é imenso, e, no fim do dia, se o programa de manutenção for efectivado, não existirá uma base de dados estatisticamente significativa acerca das falhas que causaram consequências mais graves, mas sim uma base de dados relevante no que respeita às falhas de maior importância;
- *A crença de que as políticas de manutenção devem ser formuladas por gestores de topo e os planos de manutenção por um especialista no equipamento ou consultor externo.* Não obstante o input válido que os gestores de topo e os consultores externos têm, não são quem “conhece melhor o equipamento”. Apenas por esta razão, as missões de programação de Manutenção não lhes deverão caber, sob pena da validação técnica das decisões se cobrir de incertezas e críticas. Consubstanciando a afirmação anterior, afirmamos que os programas de Manutenção elaborados nestas condições não são “propriedade” de quem os aplica, sendo vistos com cepticismo e desagrado. Resulta desta situação uma tendência para ignorar as ideias impostas por outros e recuar para os seus ultrapassados métodos de “confiança”;
- *A confiança depositada nos fabricantes dos equipamentos quanto aos programas de manutenção.* Tradicionalmente, os fabricantes de equipamentos providenciam planos de manutenção que subseqüentemente formam a parte da manutenção sujeita à crítica. Este comportamento visa retirar proveito do utilizador, evitando simultaneamente a infracção da garantia, e sendo também a “opção mais fácil”.

2.1.5 Os objectivos da estratégia RCM

Diferentes organizações aplicam a estratégia RCM por diferentes razões, as quais incluem o desejo de obter a operacionalidade máxima do equipamento, incrementar a segurança e a

integridade ambiental, reduzindo simultaneamente os custos de manutenção. Quando é correctamente aplicada, resulta em um ou mais dos seguintes proveitos:

- Segurança e ambiente – maior segurança e protecção ambiental através de:
 - Melhor manutenção dos equipamentos de segurança;
 - Revisão sistemática das implicações de segurança associadas a cada modo de falha;
 - Aplicação de estratégias claras de prevenção de falhas que possam afectar a segurança ou infringir as regulamentações ambientais;
 - Redução de falhas causadas por Manutenção desnecessária.
- Performance – é melhorada a performance do equipamento através de:
 - Ênfase nos procedimentos de manutenção dos elementos críticos de cada equipamento;
 - Diminuição ou eliminação de indisponibilidade do equipamento por falha;
 - Redução das listas de procedimentos de manutenção, resultando em períodos menores de indisponibilidade, bem como o emagrecimento de custos;
 - Redução das avarias enquadradas no período vulgarmente denominado por “mortalidade infantil”, por eliminação de acções de manutenção desnecessárias;
 - Identificação de componentes com baixo índice de fiabilidade.
- Qualidade – as implicações na qualidade desta estratégia são:
 - Melhor entendimento da capacidade e aptidão do equipamento;
 - Clarificação das especificações e requisitos dos equipamentos;
 - Confirmação ou redefinição dos procedimentos de operacionalidade dos equipamentos;
 - Definição clara das tarefas de manutenção e seus objectivos.
- Redução de Custos – a racionalização de custos é efectiva, resultando dos seguintes factores:
 - Menor número de operações de rotina;
 - Prevenção ou eliminação de falhas mais dispendiosas;
 - Políticas de operacionalidade mais claras;
 - Definição clara das estratégias para aquisição de novas tecnologias de manutenção.
- Custo do ciclo de vida – é reduzido o custo do ciclo de vida dos equipamentos, através da optimização das cargas de manutenção e providenciando uma visão clara da necessidade de sobresselentes e requisitos de gestão.
- Vida do equipamento – a aplicação de técnicas de Manutenção Condicionada confere ao equipamento uma vida útil mais prolongada, evitando quebras de disponibilidade.
- Histórico de manutenção – cria-se uma base de dados de manutenção, cuja fácil compreensão e manuseamento são as principais características, na medida em que:

- Providencia uma melhor compreensão do funcionamento do equipamento no seu contexto operacional;
- Conduz à elaboração de desenhos e manuais mais rigorosos;
- Permite que os planos de manutenção sejam mais adaptáveis a eventuais mudanças circunstanciais no futuro;
- Documenta o conhecimento acumulado pelos indivíduos em cada peça constituinte do equipamento.
- Motivação e trabalho de equipa – existe maior motivação dos indivíduos e trabalho de equipa, com particular incidência para os que estão envolvidos directamente no processo de revisão dos equipamentos. Dá-se um incremento de compreensão do equipamento no seu contexto operacional, que subsequentemente conduz a uma ampla responsabilização dos grupos de trabalhos, face aos resultados. Isto significa que os responsáveis pela manutenção colocam outro empenho e motivação no trabalho efectuado, para assegurar que os resultados sejam os mais desejáveis.

2.2 FME(C)A – “Failure Mode and Effect Criticality Analysis”

FME(C)A é uma metodologia específica de engenharia, utilizada com a finalidade de definir, identificar e eliminar/ minimizar falhas (reais ou potenciais) de um sistema, concepção, processo ou serviço. Para cada uma das falhas, é feita uma estimativa da frequência, severidade e detectibilidade, dando origem a uma avaliação quantitativa global das mesmas. Seguidamente, e de acordo com as necessidades, definem-se acções a tomar, planeando a Manutenção ou ignorando as ocorrências.

A análise FME(C)A é feita com recurso a dois tipos de bases de informação, que contemplam diversos itens. São eles:

- Primeiramente, e com o intuito de definir os modos de falhas, é recorrente a utilização de ferramentas como o histórico de avarias, garantia do produto/ serviço e as exigências/ reclamações dos clientes;
- Para identificar e minimizar/ eliminar os modos de falhas é prática corrente a aplicação de modelos matemáticos, estatística e engenharia de fiabilidade.

Como base da estratégia RCM, esta metodologia propõe-se a identificar acções correctivas requeridas para prevenir que as falhas atinjam o cliente final, visando assegurar a maior durabilidade, qualidade e fiabilidade possíveis de um produto ou serviço. Um bom FME(C)A:

- Identifica os modos de falha, conhecidos ou potenciais;
- Identifica as causas e efeitos de cada modo de falha;
- Estabelece prioridades entre os modos de falha, de acordo com o Índice de Severidade – produto da frequência de ocorrência, severidade e detecção;
- Providência acção correctiva e o seu seguimento.

2.2.1 Interpretação do FME(C)A

Em função dos objectivos propostos por esta metodologia, e face à sua extensão em sistemas complexos, torna-se indispensável estabelecer prioridades relativamente aos problemas existentes. Achar essa prioridade confere a confiança de aplicação desta metodologia. Existem 3 componentes que contribuem para a definição da prioridade dos modos de falha:

- Ocorrência (O) – frequência da falha;
- Severidade (S) – gravidade dos efeitos de falha;
- Detectibilidade (D) – facilidade de detecção da falha antes desta atingir o consumidor final.

Existem várias formas de definir o valor destes componentes, sendo mais comum a utilização de escalas numéricas. Estas linhas de orientação podem ser determinadas através de análises qualitativas ou quantitativas. As análises qualitativas baseiam-se em expectativas teóricas do comportamento do equipamento, enquanto que as análises quantitativas devem ser específicas, recorrendo a bases de dados, controlo estatístico do processo e modelos similares.

A escala dos 3 critérios pode ter diversos valores. Não existe nenhum padrão definido, contudo existem duas escalas de aplicação recorrente no actual panorama industrial. A primeira é a escala de 1 a 5 e a segunda é a escala de 1 a 10.

A prioridade de actuação sobre os problemas é articulada através do Índice de Severidade. Este número é o produto da ocorrência, severidade e detectibilidade. Este valor de per si tem unicamente a função de ordenar a prioridade de actuação dos diversos modos de falha, não contendo qualquer outro significado. Caso se pretenda, podem-se estudar todos os modos de falha até à exaustão, não sendo necessário para isso estabelecer prioridades.

Após a determinação do Índice de Severidade, a avaliação começa por se basear na definição do risco. Este é definido pela equipa responsável pelo FME(C)A, numa escala qualitativa,

mediante as circunstâncias de operacionalidade do equipamento. Constan normalmente da escala os seguintes itens, seguidos das respectivas acções:

- Perante um risco menor, não é tomada qualquer medida;
- Quando o risco é moderado, pode haver alguma medida a tomar;
- Face a um risco elevado, são adoptadas medidas definidas, com devida validação e avaliação;
- Finalmente, se o risco for de criticidade máxima, serão também tomadas medidas rigorosas, contemplando mudanças extensas no sistema, conceito de operacionalidade, produto, processo ou serviço.

Se existirem mais do que duas falhas com o mesmo Índice de Severidade, a prioridade recai no factor Severidade, já que o mesmo depende directamente dos efeitos da falha. Caso a Severidade seja idêntica, o critério de desempate é a Detectibilidade, que pode atingir directamente o cliente final, tornando-se de maior importância face à frequência de falha.

2.2.2 Condução do processo FME(C)A

Para conduzir um processo FME(C)A com rigor, existe a obrigatoriedade de seguir uma aproximação sistemática. Para tal, é recomendado um método constituído por 8 passos:

- 1- Seleccionar a equipa e promover a discussão de ideias – pela inerência do FME(C)A à estratégia RCM, a formação da equipa e pressupostos resultantes constam no sub capítulo 2.1.1;
- 2- Diagrama de blocos funcional ou fluxograma de processo – A ideia deste ponto é garantir a inteligibilidade do enquadramento do objecto de estudo. Todos os elementos da equipa entendem o sistema, concepção, processo ou serviço? O entendimento dos problemas associados está generalizado? O diagrama de blocos focaliza a discussão no sistema e na concepção, enquanto o fluxograma de processo promove a discussão no processo ou serviço;
- 3- Estabelecimento de prioridades – Após o entendimento da equipa acerca do problema, a análise começa. Põem-se as seguintes questões: O que é importante? Por onde é que a equipa deve começar? O estabelecimento de prioridades é passível de abreviatura, quando a prioridade é um facto consumado: o cliente identificou a prioridade, ou o produto encontra-se em garantia ou ainda a gestão solícita o estudo a partir de determinado ponto;
- 4- Recolha de dados – A equipa recolhe os dados das falhas, caracterizando-as apropriadamente segundo categorias. Neste ponto começa o preenchimento do mapa FME(C)A. As diferentes falhas identificadas como os modos de falha do FME(C)A;

5- Análise – Os dados são tratados de forma a tomar decisões. Os mesmos são observados e caracterizados com o intuito de obter informação, utilizada por sua vez para adquirir conhecimento. Por fim, esse conhecimento contribui para a tomada de decisão. A análise pode ser quantitativa ou qualitativa. A equipa pode utilizar *brainstorming*, análise causa-efeito, outro FMEA, modelos matemáticos, análise de fiabilidade e outros elementos que considerem aplicáveis. Esta análise permite dar início ao preenchimento das colunas do FME(C)A, relativamente aos efeitos de cada falha, existência de métodos de controlo e discutir uma estimativa dos parâmetros de severidade, ocorrência e detectabilidade;

6- Resultados – Baseado no ponto anterior, obtêm-se resultados. A informação deste passo quantifica a Severidade, Detectabilidade, Frequência de falha e o Índice de Severidade. As respectivas colunas do FME(C)A serão preenchidas;

7- Confirmar/avaliar/medir – Após a gravação de resultados, o passo seguinte consiste em confirmar, avaliar e medir o sucesso ou fracasso. Esta avaliação toma a forma de três questões básicas:

- A situação melhorou?
- A situação piorou?
- A situação mantém-se?

8- Repetir o FME(C)A – Tendo em vista as respostas dadas no ponto 7, a equipa deverá buscar novas possíveis melhorias, porque a filosofia do FME(C)A visa manter o espírito de melhoria contínua.

O objectivo é atingido quando todas as avarias forem totalmente eliminadas, embora a perseverança para atingir esse mesmo objectivo entre em linha de consideração com as necessidades da organização, custos, clientes e competitividade.

2.2.3 Tipos de FME(C)As

De uma forma geral, é aceite a existência de 4 tipos de FME(C)A. Neste sub capítulo serão abordadas as aplicações de cada tipo, o seu *output* e os respectivos benefícios. São eles:

1- FME(C)A de Sistema – Usado para analisar sistemas e subsistemas nas fases de concepção e design, focalizando as falhas potenciais entre as funções do sistema, causadas pelas deficiências do próprio sistema. Inclui as interações entre sistemas e elementos do sistema. O *output* deste tipo de FME(C)A é:

- Lista de potenciais modos de falha, escalonados pelo Índice de Severidade;
- Lista de potenciais funções do sistema que podem detectar potenciais modos de falha;

- Lista de potenciais acções de concepção para eliminar modos de falha, incrementar a segurança e reduzir a frequência de falha.

Assim, os benefícios do FME(C)A de sistema são:

- Ajuda na optimização de concepções alternativas;
- Ajuda na determinação de redundâncias;
- Incrementa a apetência para a identificação de problemas potenciais;
- Ajuda na definição de bases para a criação de procedimentos de diagnóstico de falhas, no contexto de operacionalidade dos sistemas;
- Identifica falhas potenciais do sistema e a sua interacção com outros sistemas ou subsistemas.

2 – FME(C)A de Concepção – Usado para analisar produtos antes dos mesmos começarem a sua produção, focalizando os modos de falha causados por defeitos de concepção. O *output* deste tipo de FME(C)A é constituído pelos seguintes itens:

- Lista potencial dos modos de falha, quantificados pelo Índice de Severidade;
- Lista de potenciais características críticas ou significativas;
- Lista de potenciais acções de concepção para eliminar modos de falha, incrementar a segurança e reduzir a ocorrência;
- Lista de potenciais parâmetros passíveis de testar e inspeccionar;
- Lista de potenciais acções recomendadas para características críticas/ significativas.

Dos itens apresentados, extraem-se os benefícios deste tipo de FME(C)A:

- Estabelece prioridade para as acções de melhoria de concepção;
- Documenta a fundamentação lógica de alterações;
- Providencia informação que ajuda na verificação e teste da concepção do produto;
- Ajuda na identificação de características críticas/ significativas;
- Presta assistência na avaliação dos requisitos de concepção e alternativas;
- Ajuda na identificação e eliminação de preocupações relacionadas com a segurança.

3 – FME(C)A de Processo – Utilizado para processos de manufactura e montagem, incidindo nos modos de falha causados por deficiências no processo produtivo ou montagem. O *output* reportado por este tipo de FME(C)A é caracterizado pelos seguintes pontos:

- Lista de potenciais modos de falha, escalonados pelo Índice de Severidade;
- Lista de potenciais características críticas/ significativas;
- Lista de potenciais acções recomendadas para catalogar as características críticas/ significativas;
- Lista potencial de eliminação das causas dos modos de falha, redução da sua ocorrência e melhoria da detecção de defeitos.

Os benefícios do FME(C)A de processo são:

- Identifica as deficiências processuais e estabelece planos correctivos de acção;
- Identifica as características tidas como críticas/ significativas e ajuda a desenvolver planos de controlo;
- Estabelece prioridades das acções correctivas;
- Presta assistência na análise do processo produção e montagem;
- Documenta explicação fundamentada de alterações.

4 – FME(C)A de Serviço – Usado para analisar serviços antes destes atingirem o cliente, dirigindo a sua aplicação nos modos de falha causados pelo sistema ou deficiências de processo. O *output* gerado pelo FME(C)A de serviço é:

- Lista de erros potenciais, quantificados pelo Índice de Severidade;
- Lista de tarefas críticas/ significativas;
- Lista de potenciais engarrafamentos na execução de tarefas;
- Lista potencial de eliminação de erros;
- Lista de potenciais funções de monitorização do sistema/ processo.

Os pontos mencionados anteriormente traduzem-se nas seguintes vantagens deste tipo de FME(C)A:

- Identificação das deficiências das tarefas;
- Assistência na análise da fluência do trabalho;
- Assistência na análise do sistema/ processo;
- Estabelecimento de prioridade nas acções de melhoria;
- Identificação de tarefas críticas/ significativas e ajuda no desenvolvimento de planos de controlo.

2.3 FME(C)A de Processo

Pela sua aplicabilidade no presente trabalho, apresentamos com mais detalhe este tipo de FME(C)A.

O FME(C)A de Processo é uma ferramenta evolutiva. Envolve a aplicação de diversas tecnologias e métodos para obter um processo efectivo. Quando bem aplicada, o resultado é um produto isento de defeitos, servindo também de *input* para produção, montagem e FME(C)A de Serviço. A selecção de tecnologias apropriadas pode incluir os requisitos do cliente, a utilização dos sistemas existentes, normalização e/ou procedimentos de conhecimento geral, resultados de investigação específica, resultados do FME(C)A de concepção, ou uma combinação de todos estes pontos.

Um processo produtivo envolve a utilização de seis componentes: laboração, maquinaria, métodos, medidas e ambiente. O propósito desta combinação é garantir que a produção de determinado item, cumpra ou exceda as características de qualidade e segurança especificadas pela documentação.

Os propósitos e objectivos do FME(C)A de processo são definir, demonstrar e maximizar soluções de engenharia que possam responder aos desafios de qualidade, fiabilidade, manutibilidade, custos e produtividade que se deparam no actual cenário de competitividade. A chave para a concretização de tais objectivos consiste em não enfatizar nenhum destes elementos (qualidade, fiabilidade, manutibilidade, custos, produtividade) em detrimento dos outros. Todos devem ser optimizados para que o processo seja máximo. A optimização de cada elemento passa por corresponder a definições operacionais, de acordo com a visão que a organização tem de si no mercado, criando factores de segmentação e diferenciação na conquista e Manutenção de clientes.

2.4 Teste de Laplace

Este teste será o procedimento utilizado para se verificar uma das seguintes situações:

- i) se um modo de avaria é I I D, procurando-se posteriormente o seu ajustamento a uma determinada distribuição estatística;
- ii) se a taxa de avarias de um sistema é constante, sabendo-se que as avarias tem como origem os vários componentes que compõe o sistema.

O teste de Laplace pretende verificar se numa dada sequência de acontecimentos, fazendo parte de um processo de ocorrências aleatórias, estas são independentes e identicamente distribuídas, constituindo um Processo de Poisson Homogéneo e tendo, portanto, uma taxa de avarias constante e sendo o intervalo de tempo entre avarias descrito pela distribuição exponencial negativa.

Começaremos por aplicar o teste bilateral, sempre que não se conheça a tendência do fenómeno. Este teste baseia-se nos seguintes procedimentos:

1. Executar um teste de hipóteses, em que a hipótese nula, H_0 , estabelece serem os acontecimentos I I D, Independentes e Identicamente Distribuídos, e em que a hipótese alternativa, H_1 , estabelece serem os acontecimentos não I I D.
2. Calcular o valor da estatística do teste, ET, determinando o valor equivalente de U em que $U \sim N(0, 1)$.

Quando o teste é limitado pelo tempo teremos:

$$U = \sqrt{12N} \left(\frac{\sum_{i=1}^N T_i}{NT_o} - 0.5 \right) \quad (2.1)$$

N - número de ocorrências

T_i - tempos das ocorrências

T_o - tempo de observação

Quando o teste é limitado por uma avaria virá:

$$U = \sqrt{12(N-1)} \left(\frac{\sum_{i=1}^{N-1} T_i}{(N-1)T_o} - 0.5 \right) \quad (2.2)$$

N - número de ocorrências

T_i - tempos das ocorrências

T_o - tempo da última avaria

3. Especificar o nível de significância bilateral para o teste, que no nosso caso é de $\alpha = 5\%$ (o nível de significância α significa que sempre que H_0 seja verdadeiro, a possibilidade de ser rejeitada nunca é maior que α). Em engenharia, um nível de significância estatística menor do que 5 por cento é normalmente considerado suficiente para fazer rejeitar a hipótese nula. Um nível de significância estatística superior a 10 por cento deve ser considerado como não possuindo evidência suficiente e deve levar à execução de mais testes com vista à obtenção de novos dados.

4. Determinar o valor da normal padronizada referente ao nível de significância definido, $z_{\alpha/2}$, e compara-lo com o valor de U calculado, procedendo em seguida à tomada de decisão:

- Se $-z_{\alpha/2} \leq U \leq z_{\alpha/2}$ o teste é inconclusivo e aceita-se a Hipótese Nula, se a amostra for representativa do fenómeno que está a modelar; caso contrário dever-se-á recolher mais dados.
- Se $U < -z_{\alpha/2}$ ou $U > z_{\alpha/2}$ o teste é conclusivo e rejeita-se a Hipótese Nula.

Nota: para um nível de significância bilateral de 2,5% , $z = 1,96$

Quando, após ter conhecimento de que num processo de pontos aleatórios, estes não são Independentes e Identicamente Distribuídos, constituindo um Processo de Poisson Não Homogéneo e tendo, portanto, uma taxa de avarias que não é constante no tempo e se pretende determinar se a tendência da taxa de avarias é crescente ou decrescente, passar-se-á à utilização de um teste unilateral.

O teste de Laplace unilateral tem os seguintes procedimentos:

1. Executar um teste de hipóteses, em que a hipótese nula, H_0 , estabelece que os acontecimentos são I I D, tendo uma taxa de ocorrências constante, e em que a hipótese alternativa, H_1 , estabelece que a taxa de ocorrências é

- (i) crescente
- (ii) decrescente.

2. Calcular o valor da estatística do teste, ET, determinando o valor equivalente de U em que $U \sim N(0, 1)$. Sendo $ET = U$

3. Especificar o nível de significância unilateral, α .

4. Determinar o valor da normal padronizada referente ao nível de significância definido, $z\alpha$, e compara-lo com o valor de U calculado, procedendo em seguida à tomada de decisão, podendo, neste caso, ocorrer uma de duas situações:

i) Se $U \leq z\alpha$ o teste é inconclusivo e aceita-se a Hipótese Nula, se a amostra for representativa do fenómeno que está a modelar; caso contrário dever-se-á aumentar o número de observações.

Se $U > z\alpha$, o teste é conclusivo e rejeita-se a Hipótese Nula, considerando-se a taxa de ocorrências crescente.

ii) Se $U \geq -z\alpha$ o teste é inconclusivo e aceita-se a Hipótese Nula, se a amostra for representativa do fenómeno que está a modelar; caso contrário dever-se-á aumentar o número de observações.

Se $U < -z\alpha$ o teste é conclusivo e rejeita-se a Hipótese Nula, considerando-se a taxa de ocorrências decrescente.

2.5 Estatística e Fiabilidade

Os métodos matemáticos aplicados ao estudo da fiabilidade recorrem a ferramentas de tratamento estatístico dos dados, donde resulta uma estreita relação entre a fiabilidade e a estatística. Para Pereira (1996), não é possível empreender qualquer estudo fiabilístico sem um suporte estatístico prévio, já que a eventualidade de ocorrência de avaria num determinado intervalo de tempo apenas pode ser expressa como uma probabilidade. De acordo com o mesmo autor, um estudo de fiabilidade carece de:

- Conhecimento prévio do suporte estatístico e formas de utilização;
- Conhecimento profundo dos equipamentos em estudo, principalmente no que se refere aos seus modos de falha;
- Definição, para cada caso, do que deve ser entendido como avaria.

Modarres (1993), Klaassen (1989) e também Dhillon (1988), referindo-se às características da fiabilidade das mais importantes funções estatísticas, estabelecem os seus âmbitos de aplicação.

Assim:

- ***Distribuição Exponencial***

É a distribuição mais utilizada nas análises fiabilísticas, especialmente devido à sua simplicidade e ao facto de considerar a taxa de avarias como constante, pelo que pode ser descrita como um processo de Poisson onde os acontecimentos aleatórios correspondem à ocorrência das avarias.

O facto de os processos representados pela distribuição exponencial não terem memória ou seja, a probabilidade de sobrevivência de um item entre t e $t+\Delta t$ ser independente da variável t , é descrito por Modarres (1993) como uma das mais interessantes características desta distribuição.

O mesmo autor, no contexto da curva em banheira e em períodos longos como a zona intermédia daquela curva, classifica-a de frequentemente realista.

Das situações em que é vastamente utilizada, destacam-se:

- Funcionamento pleno após o período de teste inicial;
- Rodagens prévias;
- Verificação após o “burn-in”;
- Sistemas complexos não reparáveis.

A função densidade de probabilidade (fdp) da distribuição exponencial é descrita por:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{(-\lambda t)} \quad (2.3)$$

- ***Normal***

A distribuição normal é a distribuição básica da estatística. A média dos valores de n observações aleatórias aproxima-se da distribuição normal, de acordo com o Teorema do Limite Central. Por esta característica, esta distribuição é muito usada em processos de controlo da qualidade.

A variável aleatória da distribuição normal pode tomar valores no intervalo $]-\infty, +\infty[$ pelo que é limitada em utilizações fiabilísticas, nomeadamente as estimativas do tempo até à falha.

A Normal é uma distribuição a dois parâmetros, $N(\mu;\sigma)$, que representam, respectivamente e em análise fiabilística, o MTTR e o desvio padrão do tempo até à falha.

A terceira região da curva em banheira é caracterizada pela distribuição normal sendo, por este motivo, um razoável modelo a aplicar em componentes em fadiga. Este facto é enfatizado pela forma da função de risco, monótona crescente.

A fdp da distribuição normal é descrita por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2\sigma^2} (t-\mu)^2 \right]}, \quad -\infty < t < +\infty, -\infty < \mu < +\infty, \sigma^2 > 0 \quad (2.4)$$

- **Lognormal**

A distribuição lognormal tem uma utilização significativa em análise fiabilística. No essencial, a Lognormal é a distribuição de uma variável aleatória, cujo logaritmo segue uma distribuição normal.

De entre os domínios de aplicação em análise fiabilística, destacam-se:

- Falhas atribuídas às actividades de manutenção;
- Distribuição de vida de alguns tipos de transístores;
- Tempo até à ruptura por fadiga em componentes;
- Distribuição de taxa de avarias constante se a mesma for a variável aleatória;
- Tempo até à avaria em componentes que revelem falhas precoces.

Para a variável tempo, a fdp Lognormal é descrita por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2\sigma^2} (\ln t - \mu)^2 \right]}, \quad 0 < t < +\infty, -\infty < \mu < +\infty, \sigma^2 > 0 \quad (2.5)$$

- **Weibull**

É a mais versátil das distribuições utilizadas em análises fiabilísticas com uma vasta gama de aplicações. Pela sua variedade de formas, esta distribuição a três parâmetros [parâmetro de forma β (adimensional), parâmetro de escala η e parâmetro de posição γ] pode ajustar-se a

qualquer das regiões da curva em banheira. O valor de η (parâmetro de escala ou vida característica) corresponde ao tempo ao fim do qual a probabilidade de falha atinge 63.2%. Assim:

- $\beta < 1$ – taxa de avarias decrescente, região de juventude;
- $\beta = 1$ – taxa de avarias constante, região de maturidade;
- $\beta > 1$ – taxa de avarias crescente, região de obsolescência.

A distribuição de Weibull é muito adequada para sistemas ou equipamentos compostos por diferentes peças ou componentes, cuja falha dependa do defeito ou problema mais severo. Por outras palavras, pode representar a função densidade de probabilidade do elemento mais fraco. De entre as suas inúmeras aplicações, destacam-se:

- Resistência à corrosão;
- Tempo até à falha de componentes eléctricos e electrónicos;
- Tempo até à falha de rolamentos de esferas;
- Tempo até à falha de alguns motores eléctricos;
- Tempo até à falha de componentes de sistemas, mesmo nos casos em que o tempo de falha do sistema segue uma distribuição exponencial.

A fdp da distribuição de Weibull é descrita por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}, \quad t > \gamma, \beta > 0, \eta > 0, -\infty < \gamma < +\infty \quad (2.6)$$

A fiabilidade é expressa pela seguinte expressão:

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right) \quad (2.7)$$

A taxa de avarias $\lambda(t)$ é dada por:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{\beta}{t} \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \quad (2.8)$$

Na Figura 2.1 apresentamos o quadro das características da taxa de avarias e da fdp, em função do valor do parâmetro de forma.

Parâmetro de forma β	$f(t)$	Taxa de avarias $\lambda(t)$
$0 < \beta < 1$	Decresce exponencialmente até ∞	Decresce
$\beta = 1$	Decresce exp. com $\frac{1}{\eta} = \lambda$	Constante $\frac{1}{\eta} = \lambda$
$\beta > 1$	Cresce até um pico e decai	Crescente
$\beta = 2$	Distribuição de Rayleigh	Cresce linearmente
$3 \leq \beta \leq 4$	Tem forma de distribuição Normal	Cresce rapidamente
$\beta > 10$	Forma de distribuição Normal	Cresce muito rapidamente

Figura 2.1 – Quadro das características do parâmetro de forma da distribuição de Weibull

Para $0 < \beta < 1$, a função densidade de falhas aproxima-se do infinito quando o tempo se aproxima de zero, e decresce rapidamente quando o tempo aumenta. A taxa de avarias comporta-se da mesma forma, tornando este tipo de curva de Weibull ideal para falhas de juventude, típicas do início da curva da banheira.

Quando $\beta = 1$, a curva de Weibull reduz-se a uma distribuição exponencial padrão com taxa

de avarias constante $\lambda = \frac{1}{\eta}$.

Para $\beta > 1$, a função densidade de falhas de Weibull inicia-se em zero e aumenta até um pico em $\eta[1 - (1/\beta)]^{1/\beta}$, decrescendo até zero com o incremento do tempo. A forma é concentrada para a direita prolongando-se assintoticamente à esquerda. A taxa de avarias inicia-se no zero mas aumenta monotonicamente ao longo do tempo. A taxa de aumento depende do valor de β . Por exemplo para $\beta = 2$, a taxa de avarias aumenta linearmente (a distribuição é chamada de Rayleigh). Quando $\beta = 3$ a taxa de avarias tem um aumento quadrático. Esse tipo de curva de Weibull é um modelo para mecanismos de falha típicos da região de envelhecimento da curva da banheira.

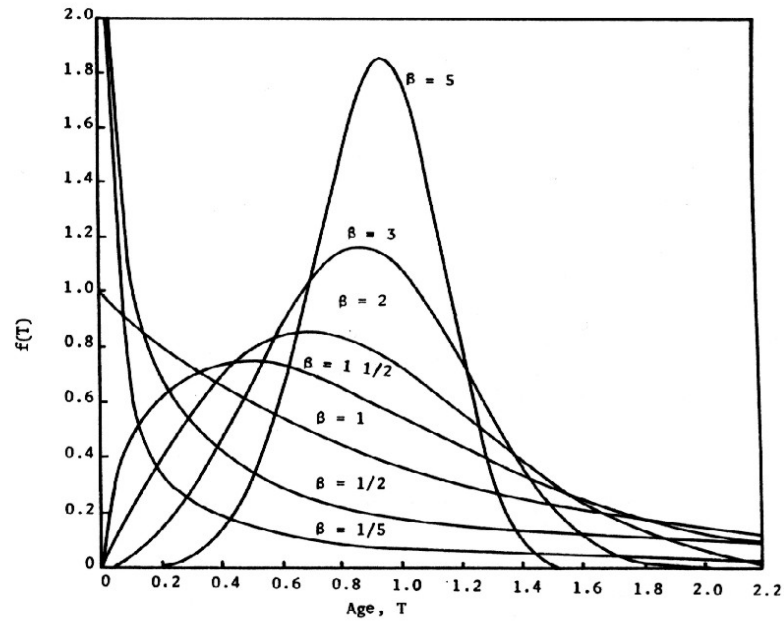


Figura 2.2 – Função densidade de falhas da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma β

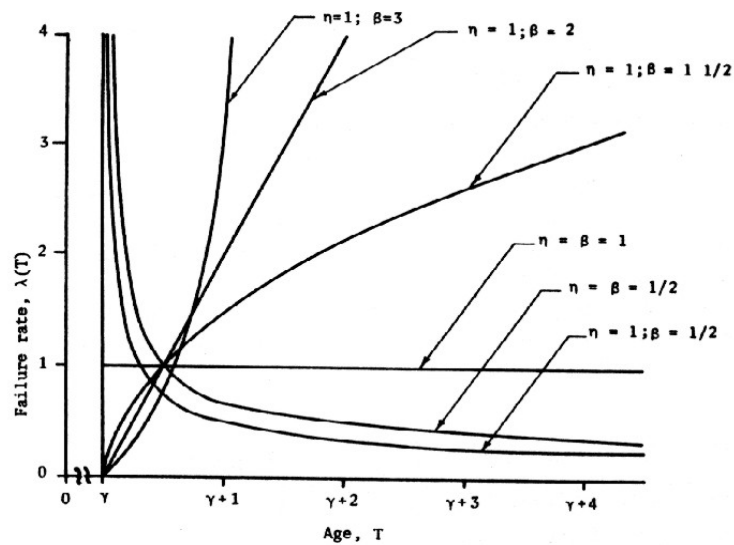


Figura 2.3 - Taxa de Falha para diferentes parâmetros da distribuição Weibull

Há, por isso, perante um determinado conjunto de tempos aos quais se pretenda ajustar a distribuição de Weibull, que determinar os valores daqueles parâmetros. Os processos de o fazer são essencialmente dois:

- Através de programa informático, que reporta ao caso em estudo;
- Através de método gráfico, usando o chamado papel de Chartwell.

- **Testes de Adequação**

Nos estudos de Fiabilidade, os testes de adequação servem para verificar se o comportamento de uma variável aleatória de uma dada amostra segue uma distribuição teórica. Para tal, admite-se na utilização estatística um risco de erro “ α ” que representa o nível de significância ou a probabilidade de erro utilizando o teste.

Os testes mais utilizados em Fiabilidade são o Qui-quadrado (χ^2) e o de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

O teste de qualidade de ajuste K-S apresenta algumas vantagens sobre o teste χ^2 , nomeadamente a definição rigorosa da distribuição da estatística do teste no caso das distribuições populacionais contínuas se bem que completamente especificadas e é geralmente mais potente.

2.6 Modelos de fiabilidade

Um modelo de fiabilidade é determinado por um número de premissas sobre a avaria dos componentes do sistema em estudo. Tomadas em conjunto estas premissas formam o modelo em que o cálculo da fiabilidade se baseia.

Pereira (1996), ao estabelecer esta definição de modelo de fiabilidade, precisa o conceito, tornando-o inconfundível face a algumas definições que tomam como modelo apenas as distribuições de variáveis.

Os modelos de fiabilidade podem classificar-se em determinísticos, estatísticos e funcionais.

Os modelos determinísticos são modelos baseados nas leis de degradação física dos componentes ou sistemas sujeitos a falha. A premissa fundamental de aplicação de um modelo deste tipo é o profundo conhecimento dos mecanismos da falha, da forma como os controlar e da diminuição da taxa de progressão dos efeitos associados. Assim, com base no conhecimento do processo de deterioração dominante podem fazer-se previsões sobre a vida do componente ou sistema em causa.

A aplicação de um modelo deste tipo está naturalmente limitada pela complexidade do sistema em estudo. Com efeito, não é possível nestes casos definir o processo de deterioração dominante nem aplicar o modelo ao tratamento simultâneo de vários processos em conjunto.

Os modelos estatísticos de fiabilidade são modelos que se sustentam no conhecimento de situações ocorridas no passado com um dado componente, sistema ou equipamento ou com entidades semelhantes para inferir sobre a condição futura dessa entidade. As ferramentas de cálculo utilizadas podem ser o ajustamento a uma distribuição de tipo previamente definido ou através de uma função própria caracterizadora da fiabilidade prevista, embora não explicitada algebricamente. No primeiro caso trata-se de modelos paramétricos e, no segundo caso, de modelos não paramétricos. Os modelos estatísticos podem ser ainda caracterizados quanto ao tipo de entidade em causa e respectiva função (mecânica, electrónica, informática, etc.) e possibilidades de reparação (reparável ou não reparável).

Podem também estabelecer-se modelos que se baseiam no tipo de falha, como o modelo catastrófico, que supõe um só modo de avaria, ou do tipo de variáveis, como os de Markov, baseados no estado do equipamento e no tempo de observação contado a partir do último zero. Aquelas variáveis podem ser discretas ou contínuas e a cada uma delas pode ajustar-se a distribuição que for mais conveniente.

Por último, na aplicação de um modelo estatístico dever-se-á pressupor que o funcionamento de um componente, ao qual foi ajustada uma dada distribuição, não é afectado por qualquer outro componente do sistema.

Os modelos funcionais opõem-se aos modelos baseados em ocorrências como os determinísticos e os estatísticos. Estes, ao contrário dos modelos funcionais, centram a sua análise nas diversas ocorrências que influenciam o funcionamento dos sistemas enquanto aqueles se preocupam com a forma segundo a qual componentes, sistemas e equipas de trabalho funcionam em conjunto de modo a desempenhar determinadas funções operacionais críticas.

2.7 Conclusões do Capítulo 2

Neste capítulo foram apresentadas as ferramentas teóricas que nos vão permitir tratar o caso em estudo, incluindo o Teste de Laplace, a distribuição de Weibull. Da apresentação dos modelos referidos, verificamos que, em conjunto, permitem avaliar fiabilisticamente o problema em estudo e, após análise dos resultados, apresentaremos a estratégia de Manutenção adequada (RCM, FMECA).

Capítulo 3 – CASO em ESTUDO: A empresa e o equipamento

3.1 Enquadramento do problema

O nosso estudo vai-se centrar na principal empresa industrial prestadora de serviços de manutenção de equipamentos ferroviários do cliente CP. Pela própria especificidade e natureza da actividade a empresa actua na área do sector ferroviário.

3.1.1 Identificação da Empresa

A EMEF – Empresa de Manutenção de Equipamentos Ferroviários, SA criada em 30/01/1993 desenvolve as suas actividades em três campos distintos:

- Reparação
- Manutenção
- Reabilitação

A actividade da **Reparação** é efectuada em grandes estabelecimentos, designados por Grupos Oficinas. Estas intervenções são programadas (com excepção do material acidentado) e originam um maior tempo de imobilização do material. São operações que possuem uma grande complexidade, no que diz respeito à sua realização, tempo de imobilização do equipamento e num número elevado de meios e pessoal. As operações de reparação podem ser classificadas de acordo com o grau de exigência:

- As Reparações Nível 1 (R1) que envolvem os projectos de reabilitação com Modernização e por vezes remotorização (no caso das unidades Diesel), cujo tempo de imobilização e periodicidade de execução, depende do tipo de veículo e das características do contrato;
- As Reparações Níveis 2 e 3 (R2, R3), cuja finalidade é o reacondicionamento da caixa e, em principio, são executadas entre três, quatro e cinco anos, ou com base na quilometragem efectuada pelo veículo (500.000/600.000 km).

A actividade da **Manutenção** é efectuada em estabelecimentos de menores dimensões que formam as Manutenções. Nesta actividade estão abrangidas a manutenção preditiva, a manutenção preventiva e ainda a manutenção correctiva, por causas acidentais, avarias, actos de vandalismo, ou outras. São operações que normalmente são caracterizadas, por serem operações de menor complexidade, que exigência uma menor quantidade de meios e de tempo de imobilização do equipamento, consistindo apenas em operações ligeiras de

manutenção e verificação do equipamento. Podem também ser classificados da seguinte forma:

- Visita de Nível 5, Visita diária (V5- VD) -intervenção que tem por consistência básica, verificações e ensaios, substituição de consumíveis (cepos, lâmpadas, etc.), cuja periodicidade pode variar entre um a cinco dias e tempo de imobilização de uma a três horas;
- Visita de Nível 4 (V4) -caracteriza-se por verificações mais especializadas e substituição de lubrificantes, com periodicidade de quinze a trinta dias, 10.000/15.000 km, e imobilização prevista de quatro horas;
- Visita de Nível 3, Visita Especial (V3-VE) -destina-se a efectuar o controle de órgãos, sopragens, afinações e substituição de lubrificantes, variando a periodicidade desta operação entre um a seis meses, 20.000/50.000 km, com tempo de imobilização de um dia;
- Visita de Nível 2, Visita Limitada (V2-VL) -tem por base a operação de substituição dum menor número de órgãos, a cadencia das reparações é semestral, 50.000/70.000 km e o tempo de imobilização é de dois dias úteis;
- Visita Nível 1, Visita Geral (V1-VG) - envolve a substituição dum elevado número de órgãos, com reposição do potencial de vida e em, principio, são executadas anualmente ou cada dezoito meses, aos 200.000 /300.000 km, com tempo de imobilização previsto de dez a quinze dias úteis.

INTERVENÇÃO	PERIODICIDADE	IMOBILIZAÇÃO
V5	7a 8 dias	3 H
V4	12500 Km	4 H
V3	25000 Km	24 H
V2	50000 Km	48 H
V1	200000 Km	
LP	300000 Km	
R2	600000 Km	
Percurso Médio Mensal - 6000 Km		

Figura 3.1 – Tabela de Intervenções

De salientar que cada tipo de intervenção possui um grau de inspecção mais aprofundado que o seguinte. Este grau de inspecção vai aumentado à medida que aumenta a periodicidade.

Sabendo que a actuação da manutenção, neste género de intervenção, nem sempre é de molde a produzir os resultados esperados, podendo mesmo chegar a contrariá-los, afigura-se-nos de maior importância o acompanhamento dos parâmetros de gestão, em cada momento, de modo que se torne possível uma adaptação das políticas de manutenção aos objectivos considerados.

A actividade da **Reabilitação** passa pela modernização de unidades ou veículos, isto é, procede-se à montagem de novos equipamentos e de novo interiorismo no material ferroviário de modo a conferir-lhe não só um aspecto diferente como também efectuar o "upgrading" do equipamento.

3.1.2 Identificação das instalações de reparação de locomotivas Diesel-eléctricas

O Grupo Oficinal do Barreiro (GOB) é uma unidade industrial da empresa EMEF que se situa nas antigas instalações das oficinas da CP e com parte do seu quadro de pessoal.

O GOB começou a sua actividade em 1861, no Barreiro, com o nome de Oficinas Gerais dos Caminhos-de-ferro do Sul e Sueste. Em 1927 passou a designar-se Oficinas da CP. A partir de 1933 instalou-se no espaço até então ocupado pela estação terminal da Linha do Sul, lugar que manteve até aos dias de hoje, apesar das sucessivas transformações por que tem passado de forma a adaptar-se ao desenvolvimento e modernismo das diversas épocas.

Com uma área total de 44.800 m², dos quais 28.400 são cobertos e 16.400 descobertos, apetrechado dos equipamentos necessários para o bom desempenho das suas actividades, o GOB desenvolve, por excelência, os seus trabalhos na área de reparação de material circulante ferroviário, onde acumula o "Know How" e a experiência adquiridos ao longo de muitos anos de prática efectiva.

Assim, encontra-se habilitado para efectuar as operações de:

- Grande reparação e reabilitação em locomotivas Diesel-eléctricas e seus componentes;
- Modificações em material circulante ferroviário;
- Reparação de material rebocado.

3.1.3 Cadeia de valor do GOB

A cadeia de valor genérica é dirigida por um gestor que assume as funções de Director na dependência directa da Administração assegura a integração estratégica e operacional de todas as actividades da organização, de forma a maximizar o potencial sinérgico dos meios humanos, financeiros e organizacionais.

A estrutura funcional apresenta como principal vantagem permitir a concentração de recursos e atenções numa indústria em que é exigido um alto grau de especialização e controlo. As actividades de suporte que apoiam indirectamente a execução das actividades primárias são quatro centros de custos (CC), designados de Serviços Técnicos, Logística, Qualidade e Administrativa-Financeira. As actividades primárias são desenvolvidas por quatro centros de resultados (CR); Reparação de Locomotivas Diesel, Reparação de Equipamentos Mecânicos e Bogies, Reparação de Equipamentos Eléctricos e Reparação de Motores Diesel.

3.1.4 Descrição geral de funções

3.1.4.1 Direcção do GOB

O gestor com as funções de Director é responsável pela definição dos objectivos e estratégias do GOB no que concerne aos contratos de reparação acordados com o cliente CP, pelo cumprimento dos programas de reparação e gestão da Qualidade, pela aprovação dos organigramas de cada CR/CC e por propor à Administração os planos de formação e investimento.

3.1.4.2 Serviços Técnicos

O gestor desta área é responsável por coordenar e elaborar as especificações técnicas de materiais e equipamentos, elaboração de orçamentos, arquivo de normas e documentação técnica de origem interna e externa, coordenação de grupos de trabalho para elaboração de relatórios de avarias ou incidentes em material circulante, assim como propor soluções de melhoria. Deve também emitir e fazer o acompanhamento de fichas de investigação e analisar as reclamações dos clientes bem como fazer o seguimento do material reparado para avaliar da fiabilidade e consistência das reparações praticadas.

3.1.4.3 Logística

O gestor desta área tem como função a aquisição de matérias-primas, produtos e serviços nas condições definidas nas especificações técnicas para a aplicação pretendida e simultaneamente garantir a disponibilidade dos materiais necessários à execução das obras dentro dos prazos previstos.

3.1.4.4 Qualidade

O gestor desta área é responsável por rever e manter o Manual da Qualidade (MQ) e implementar o Sistema de Garantia da Qualidade (SGQ), assegurando a sua integração no sistema de Qualidade da empresa. É também responsável por elaborar o programa de auditorias e realizar as auditorias internas e desenvolver acções de formação e sensibilização para a Qualidade.

3.1.4.5 Administrativa-Financeira

O responsável desta área tem como função garantir a execução do plano oficial de contabilidade (POC) da empresa, elaborar os orçamentos anuais, enviar aos clientes as facturas nos termos dos contratos celebrados, tratar os dados relativamente aos processamentos mensais dos vencimentos, actualizar os dados relativamente aos processamentos mensais dos vencimentos, actualizar os dados do cadastro de pessoal e gerir os planos de formação.

3.1.4.6 Produção

Os gestores destas áreas são responsáveis por:

Reparação de locomotivas Diesel-Eléctricas (CR20):

- Manutenção preventivas do tipo grande reparação (R) e visitas intermédias (V1);
- Manutenção correctiva devido a acidente (RAC) ou avaria (RAV).

Reparação de Equipamentos Mecânicos e Bogies (CR30):

- Bogies do material motor;
- Componentes mecânicos e pneumáticos do freio;
- Equipamentos diversos e aparelhagem de controlo.

Reparação de Equipamentos Eléctricos (CR40):

- Motores de tracção, geradores e alternadores principais;
- Máquinas auxiliares, geradores auxiliares, excitatrizes e bombas de combustível;
- Equipamento diverso de comando, controlo protecção e segurança, contactores, disjuntores e relés.

Reparação de Motores Diesel (CR50):

- Motores Diesel;
- Material de regulação e injeção;
- Material de transmissão e turbocompressores;
- Material de ar e vácuo.

Como se pode perceber pelo tipo de trabalho descrito, o grau de mecanização é extremamente baixo e predominantemente manual, porque tratando-se de uma oficina de reparação, as actividades só podem ser desenvolvidas através de comparações sucessivas que permitam confirmar se todos os órgãos, equipamentos e acessórios estão dentro dos valores dados pelos fabricantes de material.

3.1.5 Posição Competitiva

Com um efectivo médio de 240 pessoas em 2004, e trabalhando praticamente para um cliente que é simultaneamente o único accionista, o GOB debate-se com problemas de baixa produtividade e recorrência crescente de avarias de equipamentos reparados. Ao mesmo tempo que a concorrência por parte dos fabricantes se intensifica procurando por todos os meios posicionarem-se no mercado da manutenção e reparação.

Esta cobiça por parte dos fabricantes justifica-se em termos de custos marginais na medida em que permite manter os trabalhadores em actividade nas alturas de maior recessão de encomendas, ligadas aos ciclos económicos de escassez dos mercados.

Por outro lado a evolução do mercado e dos clientes demonstra uma clara tendência no sentido da electrificação e automatização das linhas de caminho de ferro, sendo previsível uma queda do material Diesel de 60% de 2004 até 2008, o que se reflectirá numa sensível diminuição dos custos de trabalho e de materiais porque, “para uma locomotiva Diesel são necessárias 19 horas de assistência por 1000 km, enquanto para uma locomotiva eléctrica bastam 4. Por outras palavras: quando uma das antigas máquinas a Diesel é substituída por uma nova, reduz-se ao mesmo tempo o custo de manutenção a um quinto”.

Por este motivo o GOB está a sofrer restrições verticais descendentes por parte da CP, que ao impor os preços de reparação do seu material circulante, esmaga os resultados e incrementa os custos da oficina, ao mesmo tempo que diminui o volume de negócios. Simultaneamente a CP também pretende negociar a implementação de Planos Gerais de Manutenção (PGMs) com aplicação de multas em função do não cumprimento dos prazos de reparação.

Segundo a IDOM (1999), o GOB só poderá sobreviver e prosperar num mercado competitivo se tomar como objectivos prioritários a actuação nos seguintes campos:

- Conseguir uma unidade industrial ordenada e eficiente mediante a implementação da política 5S (ordem e limpeza) e Gestão Visual;
- Melhorar a produtividade das operações nas oficinas mediante a padronização das operações;
- Redução do absentismo;
- Desenvolvimento de um sistema de incentivos;
- Melhoria da qualidade mediante o desenvolvimento de indicadores de qualidade tanto nos processos internos como indicadores directos de qualidade pretendida pelos clientes externos e serviços;
- Melhoria da eficiência de departamentos de apoio (logística + administrativo);
- Melhoria do cumprimento do prazo de reparações (cliente externo/interno);
- Melhoria da rendibilidade mediante a avaliação da rendibilidade de actividades não “chaves” – Subcontratação.

A EMEF adoptou como Garantia de Qualidade a Norma ISO 9002 cuja satisfação dos dezanove requisitos necessários à certificação responde a quase todos os pontos pertinentes observados pela IDOM (1999).

Por enquanto a Norma ISO 9000 ainda não contempla questões de foro sociológico relacionadas com o desenvolvimento industrial e económico, contudo no âmbito do novo contexto europeu e da globalização, perspectiva-se que a médio prazo a sobrevivência das empresas passe pela articulação da Segurança Higiene & Saúde do Trabalho na gestão da produção numa lógica de “Qualidade Total”, como forma de redução de custos, aumento da produtividade e melhoria da competitividade.

3.1.6 A empresa – as ferramentas da função Manutenção

A EMEF e a CP dispõem de algumas ferramentas como auxiliares das tomadas de decisão, de apoio à Gestão da Manutenção e controlo da mesma, das quais se destacam:

- Registo histórico da manutenção;
- Registo da indisponibilidade do material circulante ferroviário;
- Registo do número de Incidentes e suas causas;
- Contabilidade analítica;
- Registo de obra.

O registo histórico da manutenção dos veículos ou de órgãos rotáveis é o conjunto da informação recolhida ao longo da sua vida, contendo dados referentes às suas características e às operações de manutenção neles realizadas. Dado o volume de informação produzida e a necessidade de a actualizar constantemente, o registo está organizado como uma base de dados.

O registo de indisponibilidade do material circulante ferroviário é o registo da disponibilidade/ indisponibilidade do material circulante ferroviário nos espaços temporais e as suas causas.

O registo do número de incidentes é o registo de constringimentos de ordem técnica ou outra, que possam causar uma imobilização em linha superior a 10 minutos nos comboios de passageiros ou 30 minutos nas composições de mercadorias.

A contabilidade analítica é uma estrutura ordenada de códigos que permite a repartição dos custos de cada operação. Tal como o registo histórico, também a contabilidade analítica está organizada como base de dados.

O registo de obra é o suporte técnico e administrativo com a qual se inicia qualquer trabalho, o seu controlo e onde são registados todos os dados referentes à intervenção. Como tal, o registo de obra é o suporte dos dados introduzidos nos registos históricos e da contabilidade analítica.

A CP dispõe de um suporte informático integrado desde Janeiro de 1998, o SAP. Trata-se de um software modular que cobre parte substancial das áreas de Recursos Humanos, Contabilidade, Planeamento da manutenção e Gestão de materiais.

A EMEF por seu turno, utiliza o SAP R3 como software de gestão nas áreas de Contabilidade e Recursos Humanos, porém o software de Gestão da Manutenção é distinto, implementado desde 1998 e denominado MP5.

A grande vantagem que os software's integrados poderiam proporcionar, para além de correrem num sistema operativo comum e consequentemente reduzirem o risco de conflitos, reside em que um determinado dado é introduzido uma única vez, mantendo-se imutável ao longo do processo. Este facto é determinante para que para que o apuramento dos custos e constituição do histórico, objectivos fundamentais nestas ferramentas, sejam coerentes e fiáveis.

3.2 Locomotiva Diesel – Eléctrica Bombardier Série 1960 -1962/1973

No Anexo I apresentamos a ficha técnica completa desta série de locomotivas.

3.2.1 Características:



Figura 3.2 - Locomotiva Série 1960

Ano de Entrada ao Serviço: 1979
 Tipo de Transmissão: Eléctrica
 Natureza do Serviço: Linha
 Bitola de Via: 1668

Construtores:

Partes Mecânicas: Bombardier
 Motor Diesel: Bombardier
 Transmissão: GE - Canadá
 Freio: Knorr - Bremse

Licença: Alstom

Características Gerais:

Tipo da Locomotiva: MXS - 627
 Potência Nominal da Locomotiva (rodas): 2250/1950 Cv
 Diâmetro das rodas (novas): 1016 mm
 Número de Cabinas de Condução: 2
 Freio Pneumático: Ar vácuo «Dual»
 Freio Dinâmico: Não tem
 Areeiros (Número): 8

Sistema de Homem Morto: Sifa Deuta
 Comando em Unidades Multiplas: Até 4
 Lubrificadores de Verdugos: Vogel
 Registador de Velocidade: Hasler

Motor Diesel de Tracção

Quantidade	1
Construtor	Bombardier
Tipo	251/E
Número de Tempos	4
Disposição e Número de cilindros	V 16
Diâmetro e Curso	228,6x266,7 mm
Cilindrada Total	175 l
Sobrealimentação	Sim
Potência Nominal (U.I.C.)	3042 Cv
Velocidade Nominal	1050 r.p.m.
Potência de utilização	3042 Cv

3.3 Constituição da locomotiva BB Série 1960-1962/1973

A locomotiva da série 1960, tal como as restantes locomotivas Diesel – eléctricas, é constituída por um conjunto de sistemas, que por sua vez possuem vários elementos de alguma importância no seu funcionamento, dos quais iremos referir os mais significativos.

A locomotiva divide-se essencialmente em vários sistemas e/ou secções:

- **Secção do motor**

Motor: Elemento fundamental e base para o funcionamento da locomotiva, normalmente estes motores são de grandes dimensões, produzem potências de 3042 CV.

Possuem uma velocidade de rotação bastante reduzida, o que leva a binários elevados que se traduzem em forças elevadas. Por esta razão, são utilizados motores diesel com 16 cilindros em V, que funcionam com base no ciclo de 4 tempos (ciclo de OTTO), com injeção directa, em que cada cilindro possui um injector. O regulador central de forças é uma unidade incorporada com uma alimentação de óleo, bomba de óleo e acumuladores de óleo sob pressão. A sua função é de controlar a velocidade do motor, sendo também capaz de limitar a carga do motor a um valor pré determinado. Pode também desempenhar várias funções auxiliares:

1. Interrupção do controlo eléctrico da velocidade nos pontos de força;
2. Paragem automática do motor no caso de falta de pressão do óleo de lubrificação;
3. Reóstato para controlo de carga formando parte integral do regulador;
4. Limita o debito de combustível em função da pressão no colector de ar e retira a carga ao motor por acção mecânica do solenóide.

Normalmente, acoplados aos motores encontramos, quase todos os elementos que a locomotiva necessita, entre os quais o alternador, o compressor que serão posteriormente referidos.



Figura 3.3 – Visualização de um motor diesel de 16 cilindros em V



Figura 3.4 – Cabeça do cilindro

- **Sistema eléctrico**

Gerador/alternador- Elemento que se encontra directamente acoplado ao motor, do qual recebe o movimento proveniente da queima de combustível, convertendo a energia mecânica recebida em energia eléctrica, que irá ser utilizada para os sistemas de tracção e funcionamento de outros sistemas auxiliares que a locomotiva possui. No entanto, existem dois tipos de geradores, o de corrente contínua (c.c.) e o de corrente alternada (c.a.).

Geradores auxiliares- Estes geradores como o seu nome indica, servem para auxiliar o gerador principal, no fornecimento de excitação adicional para que se possa efectuar o arranque ou a

ignição do motor. Após a realização do arranque, a sua função é apenas de fornecer carga às baterias, que armazenam alguma energia, quando necessário ou para outras utilizações.

Quadro eléctrico - É uma das partes também importantes no funcionamento da locomotiva, na qual existem vários sistemas de protecção inerentes ao facto da locomotiva produzir correntes elevadíssimas, que podem variar de 100 amperes até valores próximos dos 1000 amperes, tais como :

- Resistências de grande porte
- Disjuntores
- Seccionadores fusíveis

Por outro lado, o quadro eléctrico da locomotiva permite a distribuição da energia para os vários circuitos que a locomotiva possui, neste caso, podemos referir os sistemas de tracção, em especial os motores de tracção. No quadro eléctrico existe ainda, um sistema que limita a velocidade da locomotiva através da diminuição da energia enviada para o sistema de tracção.

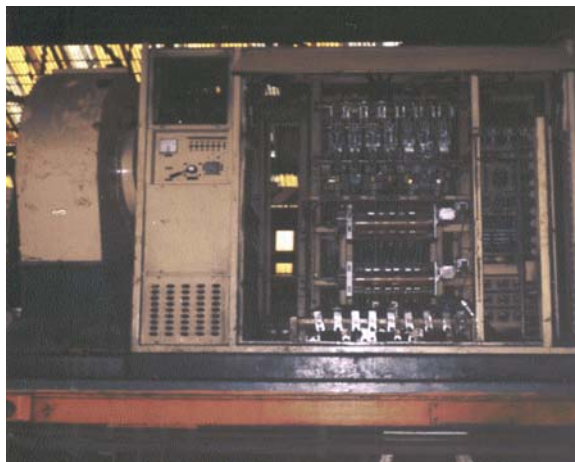


Figura 3.5 - Quadro eléctrico de uma locomotiva 1960

- **Sistema de tracção**

Bogies – Componente importante de uma locomotiva na qual esta se sustenta e se encontra em contacto com os carris, ou seja, onde a locomotiva irá transmitir toda a energia ou potência que produz. Normalmente as locomotivas possuem dois bogies, que podem variar o seu número de rodas (rodados).

É constituída por vários elementos e sistemas:

Motor de tracção – Componente que normalmente é acoplado ao bogie que tem como função receber a corrente produzida pelo alternador, efectuando a conversão da energia eléctrica em energia mecânica. Sendo essa conversão, realizada por um pinhão de ataque, que incide sobre uma roda dentada que irá mover as rodas, normalmente um motor de tracção actua sobre duas rodas, ou sobre um eixo.

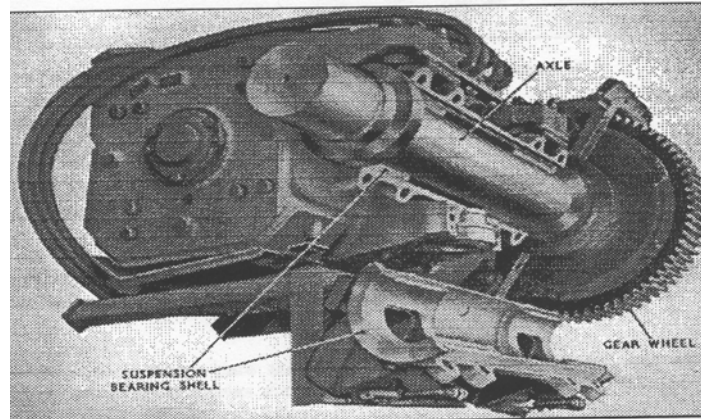


Figura 3.6 – Representação interna de um motor de tracção – Retirado de www.cp.pt

Suspensão
Sistema de travagem ou freio

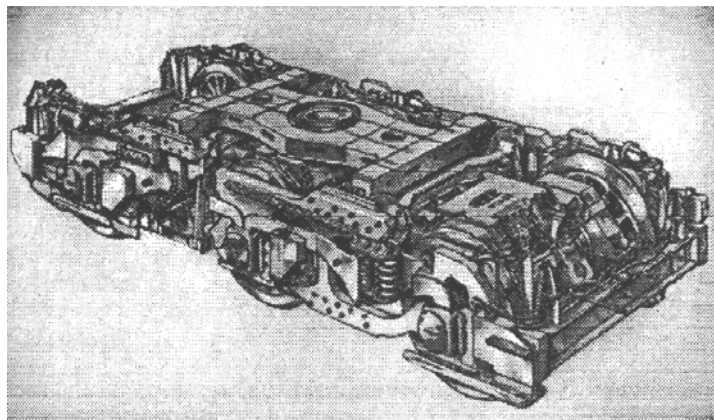


Figura 3.7 – Visualização geral da forma e dos elementos constituintes do bogie – Retirado de www.cp.pt

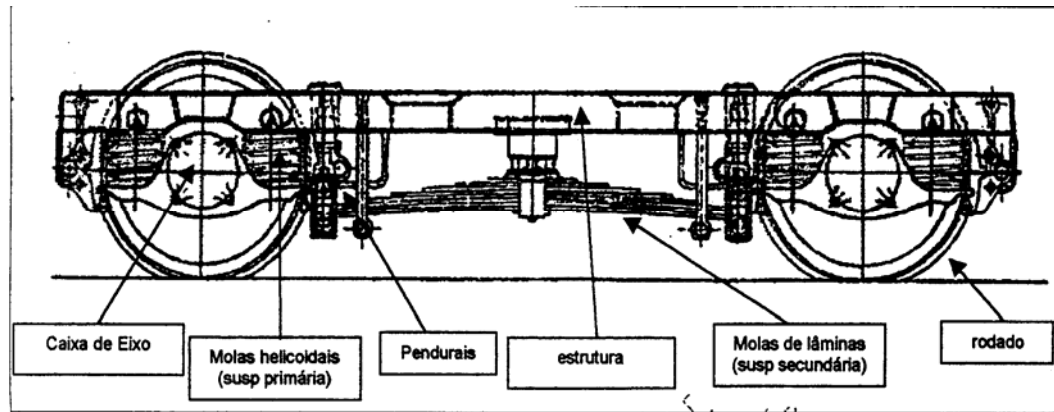


Figura 3.8 – Representação esquemática da constituição do bogie – Retirado de www.cp.pt

• Sistema de refrigeração

Sistema muito idêntico ao dos automóveis e encontra-se situado no motor até a parte frontal da locomotiva, sendo constituído por:

- Ventiladores de grandes dimensões;
- Radiadores de grandes dimensões;
- Bombas de água;
- Tubagens.

No sistema de refrigeração, temos essencialmente uma bomba de água que tem como principal função fornecer pressão, para que a água possa ter força suficiente e percorra todas as partes do bloco do motor para que este seja bem arrefecido, evitando problemas de maior. Posteriormente, esta água será transportada por tubagens até aos radiadores, onde irá realizar uma troca de calor com o ar proveniente do exterior e que foi de certa forma aspirado, para que a água seja arrefecida. Após a realização desta operação, a água é transportada novamente para a bomba, enquanto que o ar será projectado para a atmosfera através de ventiladores. Ventiladores esses, que são accionados pelo motor, através de uma ligação directa do compressor que recebe o movimento de rotação da cambota, onde existe uma caixa redutora de engrenagens helicoidais, que efectua a conversão do movimento de rotação horizontal da cambota, num movimento de rotação vertical, permitindo que o ar aspirado para o interior da locomotiva, após ter arrefecido a água dos radiadores, seja enviado para a atmosfera.

Para além destes elementos, existe uma embraiagem magnética que permite accionar e controlar o seu funcionamento, que possui duas posições de funcionamento, de acordo com dois valores standard de temperatura detectados por um termóstato.



Figura 3.9 – Radiador da série de locomotivas 1960

- **Sistema de travagem**

O sistema de travagem caracteriza-se por ser um sistema, que se relaciona com uma componente essencial, que é neste caso a segurança das pessoas e bens, daí ser um sistema importante que é sujeito a uma atenção muito especial.

O sistema de travagem é constituído por um conjunto de elementos:

- *Compressor de ar* – Este equipamento tem como função aproveitar o movimento da cambota e produzir ar comprimido que será enviado para uns reservatórios, em que esse ar será utilizado para actuar os cilindros de freio. Normalmente, o compressor encontra-se situado junto do motor.



Figura 3.10 – Compressor da série de locomotivas 1960

- *Cilindro de freio* – É o elemento que quando está sujeito a uma determinada pressão, o seu êmbolo move-se fazendo mover um braço que actua directamente sobre os cepos (calços) que se encontram em contacto com as rodas (normalmente existem dois cilindros para um conjunto de duas rodas (rodados)).

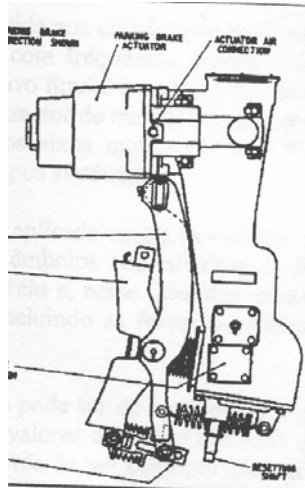


Figura 3.11 – Representação do braço que recebe o movimento do cilindro e que acciona os cecos – Retirado de www.cp.pt

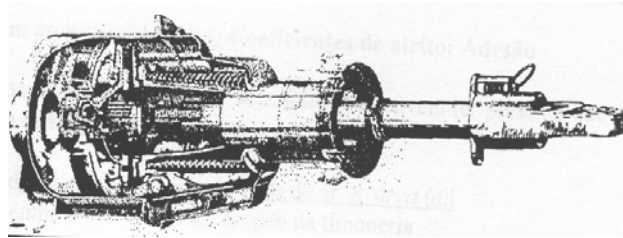


Figura 3.12 – Representação esquemática do interior de um cilindro de freio – Retirado de www.cp.pt

- *Cecos* - São os elementos que se encontram em contacto com as rodas e são constituídos por uma substância sintética.

- **Sistema de lubrificação**

Este sistema consiste em efectuar a lubrificação das partes móveis e das que estão em contacto no interior do motor. Esta lubrificação é feita por uma bomba acoplada ao motor, que transmite pressão ao óleo para que este possa circular no interior do motor, com relativa facilidade e desempenhe as suas funções de arrefecimento e de diminuição do atrito entre as superfícies em contacto.

3.4 Princípio de funcionamento da locomotiva Diesel – Eléctrica

A locomotiva a Diesel – Eléctrica é nos dias de hoje uma locomotiva que possui um grande número de utilizações, devido ao seu rendimento relativamente bom que ronda cerca de 50% a 52% e à introdução de alguns sistemas mais como o turbo-compressor e o intercooler.

O princípio de funcionamento de uma locomotiva diesel - eléctrico baseia-se num conjunto de fases :

1ª Fase – O motor Diesel, que funciona de acordo com o ciclo de Otto (4º tempos), fornece energia mecânica na forma de um movimento de rotação, sendo esse movimento aproveitado por um conjunto de elementos, neste caso, o que se encontra directamente acoplado será o alternador.

2ª Fase - O alternador ao encontrar-se acoplado ao motor, quer pelo volante do motor ou pelo veio da cambota, recebe essa energia mecânica convertendo-a em electricidade que pode ser, corrente contínua ou corrente alternada. Mas, a electricidade gerada deve-se ao facto de existir um campo magnético entre o estator e o induzido (rotor), que varia devido ao movimento do induzido, o que provoca o aparecimento de uma corrente.

3ª Fase - Após a obtenção da corrente, esta será sujeita a um controlo e distribuída pelos vários sistemas que a locomotivas possui. Um destes sistemas é o sistema de tracção, que é o principal consumidor de energia e do qual a locomotiva necessita para se movimentar.

4ª Fase - Quando a corrente chega ao sistema de tracção, mais especificamente ao motor de tracção será convertida em energia mecânica, através do motor que ao receber a corrente irá produzir o movimento de um veio que possui um pinhão de ataque que roda sobre uma engrenagem, que está directamente aos rodados, fazendo mover a locomotiva. Todos os componentes do sistema de tracção, encontram-se acoplados aos bogies.

Tendo terminado este ciclo de funcionamento, este volta novamente a repetir-se, variando a frequência ou a velocidade a que este se realiza, estando de acordo com a resposta que a locomotiva deve ter, para transportar uma determinada carga. Podemos então, constatar que os motores Diesel – eléctrico são motores que podem variar facilmente a sua velocidade, ou seja, podem funcionar em vários regimes.

3.5 Conclusões do Capítulo 3

Neste capítulo foram apresentados o equipamento em estudo e os subsistemas que o compõem. Foi também apresentado um breve enquadramento da empresa e de sua forma de funcionamento. Com esta apresentação pretendem-se fazer compreender qual o regime de funcionamento do equipamento do equipamento e a sua caracterização de modo a que melhor se possam entender os modos de avaria que serão caracterizados no Capítulo 4.

Capítulo 4 – CASO em ESTUDO: Identificação do problema

4.1 Apresentação da situação

No subcapítulo 3.16 foram feitas algumas referências às bases de dados integradas. O desenvolvimento destes produtos, por muito parametrizáveis que sejam, apelam constantemente à normalização e aos padrões “standard”, omitindo aspectos mais específicos e/ou científicos. A referida aplicação, dentro da gama de indicadores importantes para a função Manutenção como a fiabilidade e a taxa de avarias, apenas disponibiliza o MTBF e o MTTR, claramente determinados como simples médias aritméticas, respectivamente dos tempos entre avarias e tempos de reparação das mesmas. Introduzir o necessário rigor científico no cálculo de noções importantes da manutenção é uma das consequências deste trabalho. Neste capítulo apresenta-se o problema em estudo (determinação de fiabilidade dos equipamentos do circuito gerador de potência das locomotivas Bombardier 1960, de modo a que se possa prever a sua condição de funcionamento), através dos dados recolhidos e dos passos necessários para a sua obtenção, da análise dos mesmos e da aplicação dos modelos de fiabilidade apresentados no capítulo 2, de forma a obter os resultados pretendidos – previsão da fiabilidade no funcionamento da locomotiva e determinação do modo de falha crítico.

Para iniciar o trabalho, considerámos os motores ALCO 251/E de 16 cilindros pertencentes às locomotivas da série Bombardier 1960, por duas principais razões:

- Porque estas locomotivas representam uma significativa relevância estratégica para a CP na medida que pretendem cobrir necessidades de transporte de mercadorias em linhas não electrificadas, a curto e médio prazo;
- Pelo historial acumulado, que permite uma validação segura do valor agora determinado.

Como referido anteriormente, o SAP entrou em funcionamento no início de 1998. Para a obtenção de resultados tão significativos quanto possível, foi entendido determinar como período de análise o espaço de tempo compreendido entre o dia 1 de Janeiro de 1999 até 31 de Dezembro de 2003.

No que se refere às avarias, ficámos-nos pelos dados introduzidos no SAP, por si só representativos do volume de manutenção curativa praticado. Aqui, regista-se uma lacuna da base de dados, a qual consiste em permitir inserir texto livre num campo reservado para a descrição das avarias. Deste modo, não sendo uniformes os critérios de preenchimento

daquele campo, impedindo uma ordenação automática, está posto em causa o rigor desejado de um objectivo parcial deste trabalho: a determinação do modo de falha crítico nas avarias. Face às dúvidas existentes referentes a certas imobilizações (ex: falta de potência, actuação do relé de terra, etc.) procedeu-se à verificação dos Diários técnicos de bordo das locomotivas. Nestes cadernos existe um campo de preenchimento, onde os maquinistas registam a constatação de alguma situação anómala verificada ao serviço. A Manutenção posteriormente valida essa situação e descreve também no DTB as operações realizadas para eliminação da respectiva avaria. Assim, obtivemos informação com maior rigor relativamente aos equipamentos avariados.

Após a definição do órgão causador de cada avaria verificou-se a eventual incidência de modo(s) de avaria(s) associados apenas a uma locomotiva, o que pressupõe a existência de problemas específicos de cada unidade de tracção e não situações merecedoras de análise no enquadramento do presente trabalho.

Assim, para a realização deste estudo consideram-se:

- Quantitativo de motores – 13;
- Período de observação das avarias – 01/01/1999 a 31/12/2003;
- Quantidade de avarias – 199;
- Unidade de contagem – horas;
- Distância média percorrida diariamente por locomotiva – 6,7 horas.

4.2 Recolha e tratamento de dados

Uma vez que é pretendido analisar as avarias condicionantes dos índices de fiabilidade e disponibilidade da série relacionadas com a unidade geradora de potência “Diesel – Eléctrica”, e partindo do histórico, passamos para o tratamento da informação.

A partir de uma consulta directa ao SAP, obtém-se uma listagem das imobilizações devido a operações de manutenção, rotina que suporta a abertura de ordens de trabalho, onde constam os sintomas da avaria e as datas de início e fim de reparação da avaria.

Eliminámos todas as imobilizações relacionadas com operações de manutenção / reparação planeadas. No caso de ser necessário realizar uma intervenção não planeada durante este período, a mesma é ignorada para efeitos de contabilização do índice de disponibilidade da

série. Caso essa intervenção não planeada cause uma imobilização superior ao previsto para a intervenção planeada, o tempo de indisponibilidade não é cumulativo mas sim contabilizado como uma operação de Manutenção Correctiva com início na data de finalização da intervenção planeada.

De seguida ordenámos as imobilizações provocadas por Manutenção Correctiva por ordem decrescente, no que respeita ao período de imobilização, para que pudesse ser conferida uma sensibilidade prévia das avarias que causam maiores dificuldades de diagnóstico e resolução. Respeitando o plano pré-estabelecido, procedeu-se a uma pré-análise das causas das avarias ocorridas, com conseqüente eliminação de todas as imobilizações não provocadas pelo “circuito” gerador de potência, como por exemplo cilindros de freio, rodados, motores de tracção, etc.

4.3 Identificação dos Modos de Avarias

Respeitando todos os pressupostos mencionados no capítulo anterior, efectuou-se um estudo das avarias do sistema através de uma análise de Pareto. Esta análise é muito utilizada como primeiro passo no estudo dos sistemas sempre que se pretende diagnosticar os factores preponderantes para um dado fenómeno, como é o caso em que se necessita determinar quais os equipamentos (e respectivos modos de avaria) mais influentes nas avarias globais de um sistema ou subsistema. De uma forma genérica, define-nos que “20% dos equipamentos, provocam 80% do número de avarias”.

Causa	Horas Imob.
Radiadores	3670
Cabeça de cilindro MD	2296
Compressor	2124
Transmissão da ventoinha de refrigeração MD	2135
Circuito de lubrificação	1863
RCF – Regulador Central de Forças	1480
Transmissão ao Ventilador dos M. Tracção	1327
Turbocompressor	1176
Painel Rectificador	1084
Circuito de refrigeração (excluindo Radiadores)	949
Circuito de combustível	869
Bomba de óleo	614
	$\Sigma=19587$

Figura 4.1 – Tempos de imobilização dos modos de avarias

NOTA: O número total de horas de imobilização da série Bombardier 1960 devido às avarias em equipamentos associados ao circuito gerador de potência, ao longo dos 5 anos, é 23858 h.

$$\text{Logo: } \frac{19587}{23858} = 0.82$$

Conclui-se portanto que aproximadamente 20% dos equipamentos provocam 82% de horas de imobilização. Esta conclusão aferiu a sensibilidade prévia de órgãos/componentes principais causadores de avarias.

A partir dos dados diários de registo das várias locomotivas que compõem a série de 1960 criou-se uma base de dados relativos aos 12 equipamentos com maior incidência. Neste histórico podemos encontrar a seguinte informação:

- Tipo de intervenção de manutenção;
- Ano da locomotiva / tipo de locomotiva;
- Modo de avaria / equipamento;
- Data/hora de início em que começou a intervenção;
- Data/hora em que terminou a intervenção;
- Número de quilómetros percorridos desde o início de funcionamento;
- Horas de funcionamento;
- Tempo de imobilização;
- Tempo disponível;
- Breve texto para cada modo de avaria / equipamento.

Em seguida foi feita separação do histórico por locomotiva (Anexo II). Os modos de avarias considerados constam na figura em Anexo III, onde se representa a percentagem em que ocorre cada modo de avaria.

Com base no histórico fornecido fez-se uma análise a partir do modo de avaria / equipamento e consideraram-se as 12 locomotivas como **uma só** (para cada modo de avaria / equipamento), já que a análise prévia indicou-nos que tendencialmente as avarias apresentavam evoluções no tempo muito equivalentes. Com estes valores determinaram-se os tempos de funcionamento e os tempos de reparação entre duas paragens consecutivas.

4.4 Aplicação do Teste de Laplace para cada modo de avaria

Para obtenção do tempo “zero” referente ao dia 01-01-1999 seguiram-se os seguintes passos:

O histórico recolhido é referente ao período temporal compreendido entre 01-01-1999 e 31-12-2003, e uma vez que cada locomotiva trabalha em média 6,7 horas por dia, para cada equipamento até a primeira ocorrência calculou-se o tempo de funcionamento médio referente à totalidade do histórico.

Os dados foram migrados para uma folha de cálculo (exemplo no Anexo IV) e “trabalhados” para aplicação do teste de Laplace (exemplo no Anexo V). O objectivo deste teste é verificar se as ocorrências são Independentes e Identicamente Distribuídas (IID), formulando-se para tal duas hipóteses:

- H_0 – ocorrências IID;
- H_1 – ocorrências não IID.

Como o teste é limitado por tempo, a identificação da estatística do mesmo (ET) e caracterização da respectiva distribuição amostral é dada por:

$$ET = \sqrt{12 \times N} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N \times t_0} - 0.5 \right] \quad (4.1)$$

Onde:

- N é o número de ocorrências;
- t_i é o tempo decorrido até à avaria i ;
- t_0 é o tempo total.

Assim, verifica-se para cada equipamento:

Circuito de lubrificação

- $\sum t_i = 2561544$ horas ; $N = 46$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = -2,707$.

RCF– Regulador Central de Forças

- $\Sigma t_i = 486500$ horas ; $N = 10$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = -1,795$.

Transmissão ao ventilador dos Motores de Tracção

- $\Sigma t_i = 424673$ horas ; $N = 5$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = 0,673$.

Painel Rectificador

- $\Sigma t_i = 180498$ horas ; $N = 2$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = 0,606$.

Bomba de Óleo

- $\Sigma t_i = 94872$ horas ; $N = 2$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = -0,844$.

Circuito de combustível

- $\Sigma t_i = 3202332$ horas ; $N = 44$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = 0,067$.

Transmissão da ventoinha de refrigeração dos radiadores

- $\Sigma t_i = 84500$ horas ; $N = 3$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = -1,832$.

Radiador

- $\Sigma t_i = 732203$ horas ; $N = 16$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = -2,547$.

TurboCompressor

- $\Sigma t_i = 989000$ horas ; $N = 13$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = 0,321$.

Circuito de refrigeração (excluindo radiadores)

- $\Sigma t_i = 2008955$ horas ; $N = 31$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = -1,007$.

Compressor

- $\Sigma t_i = 867918$ horas ; $N = 13$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = -0,483$.

Cabeça de Cilindro

- $\Sigma t_i = 827638$ horas ; $N = 12$ avarias; $t_0 = 144720$ horas de funcionamento;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = -0,281$.

De acordo com os resultados verificados para a Estatística do Teste (ET), há um conjunto de avarias em que o teste de Laplace se revelou **inconclusivo**, para um nível de significância bilateral de 2,5%, porque $-1,96 \leq ET \leq 1,96$ e aceita-se portanto a hipótese nula. Uma vez que as amostras são representativas dos fenómenos modelados, conclui-se serem estes I.I.D. São, portanto, os seguintes:

- RCF – Regulador Central de Forças
- Transmissão ao ventilador dos motores de tracção
- Circuito de combustível
- Turbo compressor
- Circuito de refrigeração (excluindo radiadores)
- Painel rectificador
- Bomba de óleo
- Transmissão da ventoinha de refrigeração dos radiadores
- Compressor
- Cabeça de cilindro

Quando os modos de avaria não são I.I.D., o teste é conclusivo e, rejeita-se a hipótese nula (H_0) porque $ET > 1,96$ ou $ET < -1,96$.

- Circuito de lubrificação
- Radiador

Para verificação da tendência, as avarias associadas ao **Circuito de lubrificação e Radiadores**, não I.I.D., foram agrupadas ano a ano, tendo-se obtido os seguintes gráficos:

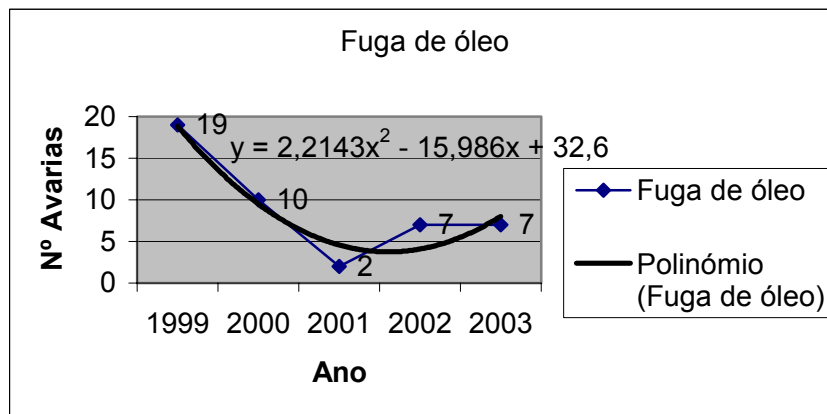


Figura 4.2 – Tendência das avarias provocadas por “Fuga de óleo”

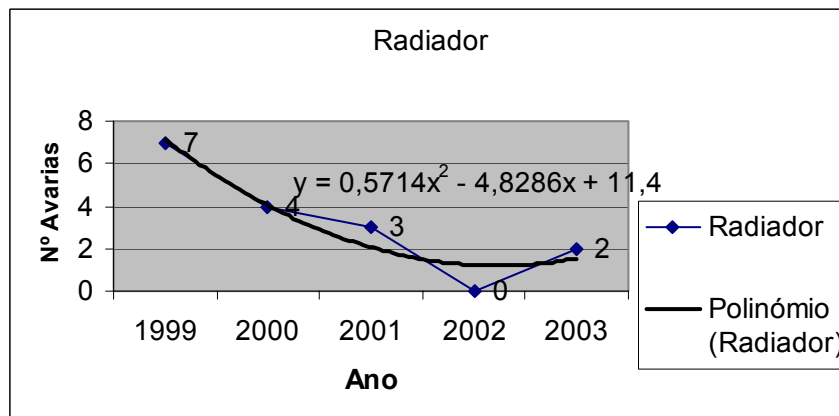


Figura 4.3 – Tendência das avarias associadas ao equipamento “Radiador”

A regressão linear mostra que as avarias associadas a estes dois equipamentos têm uma taxa de avarias decrescente, o que indica claramente uma alteração de política de manutenção face aos mesmos. Lembramos a título de exemplo, que, em valor absoluto, os radiadores foram os primeiros responsáveis pela indisponibilidade desta série no período analisado. A aquisição de novos radiadores, e substituição dos obsoletos, permitiu inverter a tendência de fiabilidade deste equipamento. Relativamente às fugas de óleo, adoptou-se um novo tipo de cartão de

juntas que, face ao anteriormente utilizado, apresenta vantagens operacionais, nomeadamente de vedação e durabilidade. O antigo cartão, quando sujeito a oscilações de temperatura, sofria significativas deformações plásticas; também as suas propriedades elásticas eram afectadas, tornando-se limitadas. A conjugação destes dois factores originava um incumprimento “regular” da função de vedação requerida, com consequentes avarias no circuito de lubrificação e custos de manutenção.

4.5 Cálculo de Fiabilidade

A análise estatística aqui apresentada foi realizada com o auxílio do Programa *Weibull Smith*, desenvolvido pela Fulton Findings dos EUA, tomando-se como base o conceito estatístico contido no livro "New Weibull Handbook". Este programa permite o ajuste de distribuições estatísticas (Weibull, exponencial e normal) a dados de tempos de vida, sendo largamente empregado em diversos sectores industriais nos Estados Unidos. Ajustaram-se os dados existentes (exemplo no Anexo VI) à distribuição de Weibull, devido à ampla aplicabilidade desta distribuição, pois atende também aos casos em que a taxa de falha seja decrescente ou crescente e à possibilidade de extrair conclusões significativas com relação ao comportamento temporal das taxas de falha dos componentes analisados. Dessa forma, a interpretação dos resultados dos ajustes gráficos da distribuição de Weibull fornece indicações de grande importância para o diagnóstico das causas básicas, associadas aos modos de falhas dos equipamentos como um todo e dos seus diversos componentes.

Os passos foram os seguintes:

- Carregamento dos dados;
- Indicação do modelo matemático;
- Escolha do intervalo de confiança.

Automaticamente obtêm-se:

- Curvas $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ e $\lambda(t)$;
- Tempos característicos.

A distribuição de *Weibull* foi realizada separadamente para os diferentes equipamentos, considerando-se também os dados relativos a falhas devido a factores externos ao equipamento. Além da recta correspondente ao melhor ajuste dos dados, demonstram-se também as curvas correspondentes ao intervalo de confiança de 95%. No Anexo VII podemos

ver os gráficos de **Probabilidade de Falhas $F(t)$** , **Fiabilidade $R(t)$** , **Função densidade de probabilidade $f(t)$** e **Taxa de avarias $\lambda(t)$** para cada equipamento estudado.

4.5.1. Parâmetros de Weibull

Equipamento	Nº de Avarias	Parâmetros de Weibull		U
		Parâmetro de Forma (β)	Vida Característica (η) [Horas]	
Compressor	13	1,4077	73765	-0,483
Transmissão ao ventilador dos MT	5	2,4738	96655	0,673
Painel Rectificador	2	3,9891	99200	0,606
Cabeça dos Cilindros	12	1,7900	76904	-0,281
Bomba de óleo	2	2,2740	55093	-0,844
RCF – Regulador Central de Forças	10	0,8683	53941	-1,795
Turbocompressor	13	1,9312	85653	0,321
Circuito de refrigeração (excluindo radiadores)	31	1,6183	92539	-1,007
Transmissão da ventoinha de refrigeração dos radiadores	3	1,3257	33447	-1,832
Circuito de gasóleo	44	1,3807	82864	0,067

Figura 4.4 - Tabela dos parâmetros característicos da distribuição de Weibull

4.5.2 Comentários para parâmetro de forma $\beta < 1$

Na figura 4.4 apresenta-se o ajuste para os dados globais das locomotivas. Observa-se que para o equipamento **RCF – regulador central de forças**, o ajuste indica uma vida característica $\eta = 53941$ horas e um factor de forma $\beta = 0,8683$. O valor obtido para β indica

que o comportamento da taxa de falhas das locomotivas para o equipamento acima referido é caracterizado pela ocorrência de "mortalidade infantil, ou seja, no arranque", uma vez que é decrescente (fig. 4.5). Concentrando-se este estudo em 5 anos de histórico, compreendidos entre 01/01/1999 e 31/12/2003, não coincidindo este período com o início de funcionamento dos equipamentos, concluímos que existiram problemas nos primeiros anos de análise, que já foram solucionados.

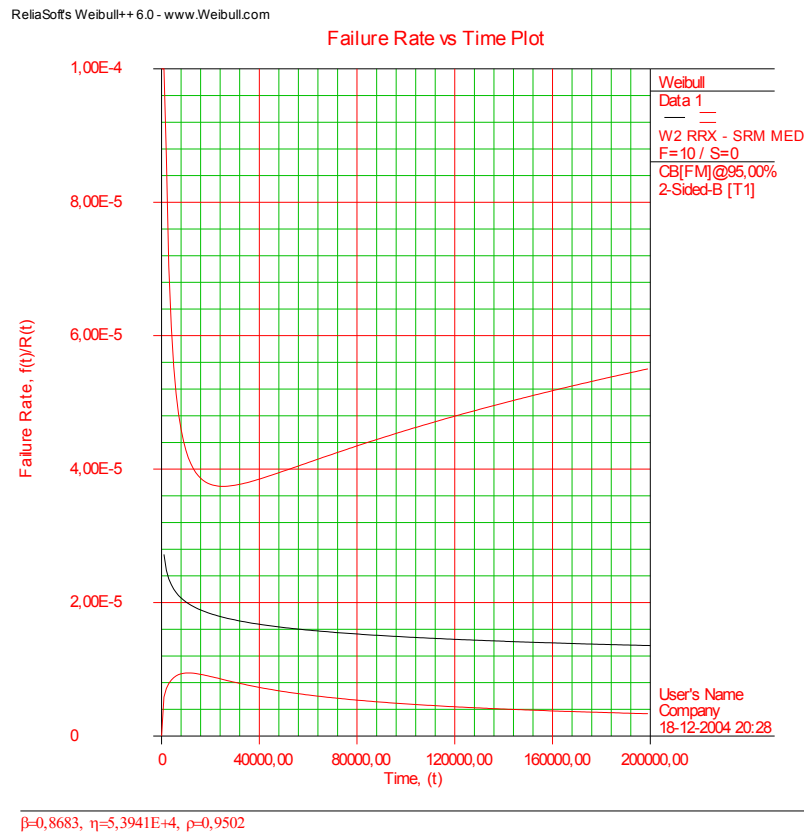


Figura 4.5 – Gráfico taxa de avarias/ tempo, das falhas associadas ao equipamento “RCF”

4.5.3 Comentários para parâmetro de forma $\beta > 1$

Na fig.4.4 verifica-se que os modos de avaria com $\beta > 1$ são os seguintes:

- **Transmissão da ventoinha de refrigeração dos radiadores;** $\beta=1,3257$ e $\eta=33447$ horas
- Os parâmetros de Weibull encontrados levam-nos a concluir que a quantidade de avarias associadas a este equipamento é insuficiente para extrapolar resultados indicadores da evolução da sua degradação no tempo. Em 5 anos ocorreram apenas 3 avarias, uma em 1999 e duas em 2000. As avarias datadas de 2000 ocorreram em Abril e Maio, na mesma locomotiva (1971), pelo que fica a suposição de apenas se tratar de um problema mal resolvido. Face aos

dados apresentados, consideramos que este equipamento tem as suas avarias controladas, não sendo portanto merecedoras de análise técnica detalhada.

- **Circuito de combustível;** $\beta=1,3807$ e $\eta=82864$ horas

Verificaram-se 44 avarias (em valor absoluto, o maior número para $\beta > 1$) associadas ao Circuito de combustível com um tempo total de imobilização de 869 horas, o que perfaz uma imobilização média de 19,75 horas por avaria. Consideramos este valor baixo, quando comparado com outros equipamentos em análise. O parâmetro de forma indica-nos que a taxa de avarias é moderadamente crescente. Já o parâmetro de escala, diz-nos que partir de 82864 horas do funcionamento do circuito de combustível temos a indicação de que a probabilidade de falha atinge 63,2%, e que o ciclo de reparação da maioria dos seus componentes ocorre às 72000h em que a probabilidade de falha é de 56,12%.

As principais causas para fuga de gasóleo são as fissuras dos tubos de alta pressão e retorno, e as disfunções dos injectores, raramente ocorrendo falhas da bomba de combustível, bombas de injeção e válvula de pressão do gasóleo. Nestes itens constituintes do Circuito de combustível, são praticados 2 tipos de intervenções: Manutenção curativa quando a avaria é detectada por falha da operacionalidade do motor Diesel, e Manutenção Preventiva Condicionada em todas as visitas de manutenção, onde é verificada a completa estanquicidade do circuito de combustível e a adequada pressão do gasóleo do circuito de alimentação do motor Diesel. Se relativamente aos injectores existe um plano de manutenção corrente que prevê a tomada de acções para um funcionamento regular, já os tubos de alta pressão e retorno do gasóleo trabalham até ao limite de utilização, sendo substituídos mediante a sua falha para serviço. De referir que os incidentes (ver definição no sub capítulo 3.1.6) causados pela falha do circuito de combustível estão maioritariamente ligados à fissura de tubos de alta pressão.

- **Compressor;** $\beta=1,4077$ e $\eta=73765$ horas

À semelhança das avarias resultantes do circuito de combustível, também os compressores têm um ténue crescimento da taxa de avarias, sendo esta afirmação consubstanciada com um parâmetro de forma muito idêntico. Nos 5 anos em estudo, o número total de avarias é 13, o que corresponde a uma imobilização temporal do parque de locomotivas de 2124 horas, resultando uma média de 163,38 horas de imobilização por avaria. O parâmetro de escala é largamente inferior ao número de horas do ciclo de grande reparação do equipamento (73765 horas < 216000 horas), existindo duas reparações intermédias a cada 72000 horas. Na Figura 4.6 pode-se observar a evolução da probabilidade de falha ao longo do tempo. Às 216000 horas a mesma ascende a valores próximos de 100%.

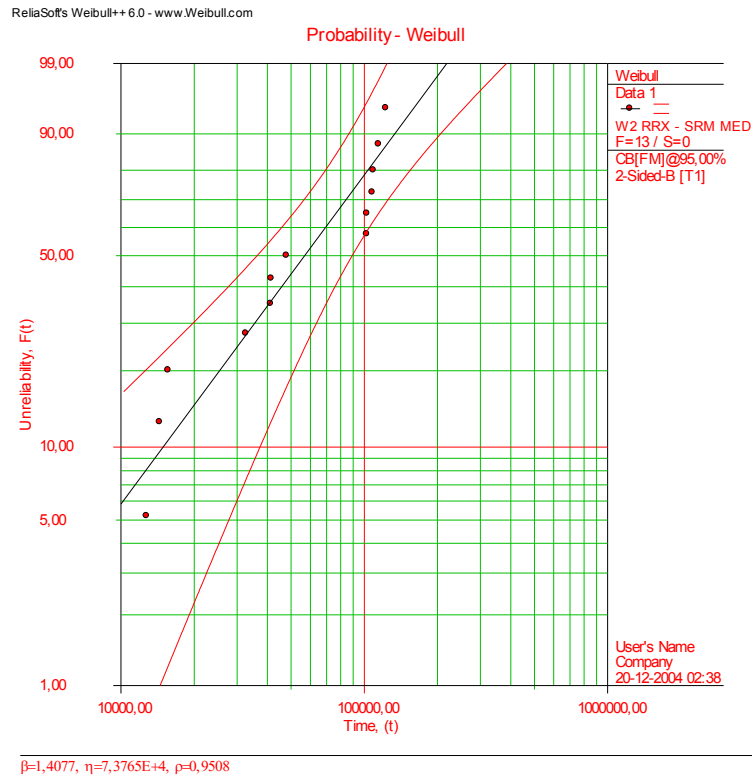


Figura 4.6 – Probabilidade de falha das avarias associadas ao equipamento “compressor”

Existem diversas causas de avarias dos compressores, motivo pelo qual se aconselha um estudo mais aprofundado do mesmo, tendo em consideração a afectação de fiabilidade e disponibilidade que tem no material circulante e o seu custo de reparação.

- **Circuito de refrigeração (excluindo radiadores);** $\beta=1,6183$ e $\eta=92539$ horas

O circuito de refrigeração apresenta um total de 31 avarias que representam um período de imobilizações de 949 horas. O valor médio de horas por imobilização é de 30,61. A taxa de avarias é crescente, o que se consubstancia com o valor do parâmetro de forma $\beta = 1,6183$. Apresenta uma vida característica mais elevada do que a maioria dos restantes itens em estudo ($\eta = 92539$ horas), o que é justificável pela permanente verificação de parâmetros constantes das operações de manutenção corrente.

As falhas associadas aos equipamentos constantes do circuito de refrigeração provêm de várias causas, como avaria da bomba de água, tubagens partidas, fugas nas juntas marman, fugas no colectador geral de água, termóstatos avariados, roturas no vaso de expansão e elevação da temperatura de funcionamento do motor, enumerando as principais. Muitas destas causas são difíceis de prever. Tal como no circuito de combustível, parte do circuito de refrigeração é obsoleto, o que causa, com alguma frequência, incidentes.

• **Cabeça de Cilindro;** $\beta=1,7900$ e $\eta=76904$ horas

Observa-se que as 12 imobilizações associadas a falhas das cabeças de cilindro do motor Diesel causaram uma inoperacionalidade desta série de locomotivas igual a 2296 horas. Se excluirmos o equipamento “radiador”, que apresenta uma taxa de avarias decrescente, as cabeças de cilindros apresentam o maior valor absoluto, de imobilização por avaria (191,33 horas/ avaria) e imobilização total da série, quando comparado com os outros equipamentos em análise. Acrescente-se porém que cada imobilização possa porventura representar a falha de diversas cabeças de cilindro, podendo a reparação atingir um máximo de substituição de 16 por locomotiva. A taxa de avarias é significativamente crescente e a fiabilidade ao longo do tempo atinge valores insuficientes face ao ciclo de reparação destes equipamentos. Após uma reparação geral, todas as cabeças de cilindro são sujeitas a uma substituição por um conjunto reparado às 144000 horas de funcionamento, em que a sua fiabilidade é 4,63% (Figura 4.7).

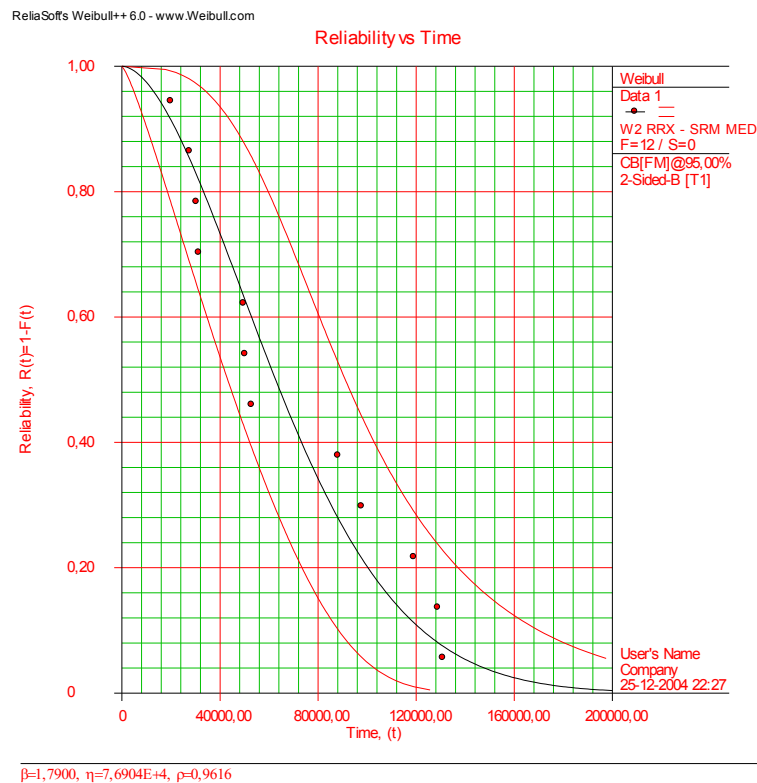


Figura 4.7 – Fiabilidade do equipamento “cabeça de cilindro”

As principais causas para a ocorrência de falha destes equipamentos são:

- Abertura de fendas no corpo da cabeça de cilindro, o que origina a passagem de água para o gasóleo;
- Folga excessiva das guias das válvulas, provocando fugas de óleo para o escape.

• **Turbo Compressor;** $\beta=1,9312$ e $\eta=85653$ horas

Os turbocompressores desta série apresentaram um total de 13 avarias no período de estudo, perfazendo um total de 1176 horas de imobilização. A média de horas de imobilização por avaria (90,46), não é muito alta, face à existência de reserva e relativa facilidade de montagem e desmontagem do equipamento. A vida característica é de 85653 horas, e o ciclo de reparação dos turbocompressores é 72000 horas ($R(72000h) = 0,4891$). A taxa de avarias é significativamente crescente, evoluindo de acordo com o gráfico apresentado na Figura 4.8.

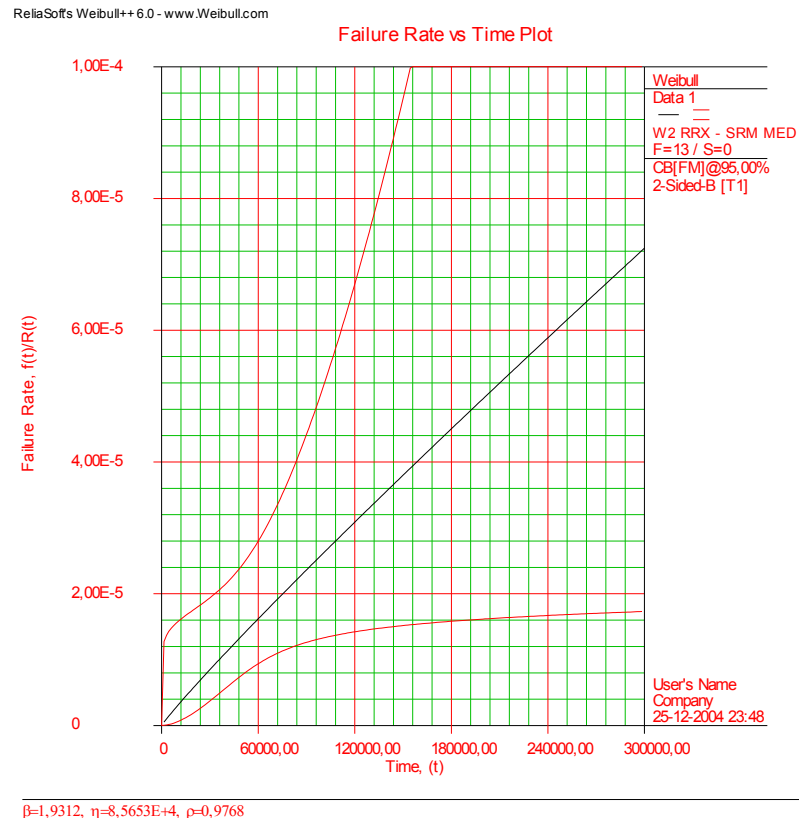


Figura 4.8 – Gráfico taxa de avarias/ tempo, das falhas associadas ao equipamento “turbocompressor”

Uma das principais causas de avarias do turbocompressor ocorre nas caixas de refrigeração, que abrem fendas para o exterior, provocando fugas de água e consequente sobreaquecimento do equipamento.

Esporadicamente, nos ensaios de potência, a roda compressora fragmenta-se danificando todos os equipamentos mecânicos associados, situação desastrosa economicamente e potencialmente perigosa no que concerne à segurança dos técnicos presentes. Outros potenciais modos de falha deste equipamento estão associados principalmente à entrada de corpos estranhos, ou elevadas temperaturas provenientes da combustão.

4.5.4 Comentários para parâmetro de forma $\beta > 2$

A estes equipamentos (Bomba de óleo, Painele rectificador e Transmissão ao ventilador dos motores de tracção), aplicamos um raciocínio análogo à Transmissão da ventoinha de refrigeração dos radiadores, ou seja, não consideramos a amostra suficientemente significativa para validar os resultados de fiabilidade, podendo os mesmos variar significativamente, com pequenas alterações de Input.

4.6 Aplicação da metodologia FME(C)A

Após o cálculo da fiabilidade de cada equipamento, associado às respectivas conclusões, é nosso objectivo determinar e caracterizar o modo de falha crítico, sugerindo medidas correctivas. Para atingir tal propósito, é adoptada a estratégia RCM (Capítulo 2.1), com recurso à FME(C)A (Capítulo 2.2).

Porém, e pretendendo ser este um trabalho “modelo”, e não uma efectivação prática das técnicas estudadas, seleccionamos apenas um item dos 5 prioritários para aplicação da FME(C)A, contrariando a teoria de que todos os modos de falha devem ser estudados de forma a estabelecer prioridades de actuação face à criticidade dos mesmos, e optimização máxima dos equipamentos em todas as vertentes.

4.6.1 Escolha do equipamento

Seguindo a linha de raciocínio explicitada no sub capítulo anterior, utilizámos dois critérios para escolha do equipamento de aplicação do FME(C)A: fiabilidade e menores constrangimentos de obtenção de informação. Outros critérios comumente aplicados são: análise de custos, segurança, satisfação do cliente final (incidentes em linha) e políticas de gestão (exemplo: disponibilidade do equipamento).

Assim, perante a aproximação do ciclo de vida do equipamento turbocompressor do período de desgaste ($\beta = 1,9312$), é esta a nossa escolha. De referir que a escolha de outro equipamento seria muito dificultada pela falta de uniformização das designações, quer dos sintomas, quer das causas das avarias, especialmente do circuito de refrigeração e circuito de combustível. Também se verificaram situações de falta de rigor nas designações atribuídas e causas pouco concretas. Dentro do que foi possível apurar, através de consultas à base de dados e aos registos em papel, enfatizamos a necessidade de, a curto prazo, realizar um estudo que conduza à uniformização dos dados referentes aos sintomas e causas das avarias.

4.6.2 Determinação e caracterização do modo de falha crítico

Os critérios utilizados para determinação do modo de falha crítico seguem o proposto no sub capítulo 2.2. Assim, são adoptados os critérios severidade do efeito, frequência de ocorrência e dificuldade de detecção cujas classificações e índices se indicam no Anexo VIII.

$$\text{Índice de Severidade (I}_s\text{)} = \text{Severidade} \times \text{Detectabilidade} \times \text{Frequência} \quad (4.2)$$

De acordo com a teoria explanada no referido sub capítulo, o Índice de Severidade é um valoroso indicador do grau de criticidade de um dado modo de avaria. Determinado por 4.2 será tanto mais crítico quanto mais elevado for o seu valor.

Apresentamos no Anexo IX, o FME(C)A realizado para o equipamento turbocompressor.

A causa com o mais elevado Índice de Severidade, fractura de válvulas do motor Diesel, é entendida como o modo de falha crítico.

Um facto que nos parece ser significativo é a classificação do modo de falha crítico apurado, 32 pontos, face ao valor máximo atribuível, 125 pontos. Verificamos também uma diferença pouco significativa relativamente aos restantes modos de falha, o que indicia alguma dispersão das causas de avarias. Para melhorar a fiabilidade deste equipamento não é suficiente actuar sobre o modo de falha crítico, mas sobre os diversos modos de falha.

Sugerimos a utilização de técnicas de controlo da condição aplicáveis a cada modo de falha.

4.7 Conclusões da aplicação da estratégia RCM

Conclui-se que dos 12 equipamentos estudados, 5 inspiram especial atenção, no que respeita à fiabilidade dos mesmos. São eles: compressor, circuito de combustível, circuito de refrigeração (exceptuando radiadores), cabeça de cilindro e turbocompressor. Destes, damos particular ênfase aos dois últimos, cujo parâmetro de forma (β) se aproxima perigosamente para 2, valor que caracteriza a ocorrência de degradação por fadiga “velhice”, reflectindo também um comportamento da taxa de falhas linearmente crescente. Destacamos também o compressor, que a par da cabeça de cilindro, apresentam uma vida característica muito baixa, quanto ao enquadramento do ciclo de reparação dos mesmos, indesejável operacionalmente e face aos custos de reparação.

Recomendamos, para os 5 equipamentos, a aplicação de algumas medidas técnicas que podem melhorar a fiabilidade e aumentar a disponibilidade dos sistemas, tais como:

- Compartimentação da análise da fiabilidade por blocos;
- Aplicação da estratégia RCM sempre que possível, com especial incidência para a metodologia FME(C)A.
- Ajustamento da periodicidade de manutenção preventiva dos equipamentos, entrando em linha de conta com a sua manutibilidade, com planos bem elaborados promovendo a redução do número de avarias e o alongamento dos períodos de funcionamento;
- Estabelecimento de parâmetros de fiabilidade aquando da aquisição de componentes e partes, sempre que seja possível;
- Estabelecimento de contactos/programas no sentido de melhorar a fiabilidade de componentes, conjuntos, partes ou mesmo subsistemas;
- Estudo dos factores que poderão influenciar a fiabilidade humana, nomeadamente dos operadores de sistemas e elementos da manutenção, no sentido de detectar as causas que afectam a correcta operação ou manutenção do sistema e, assim, eliminá-los.

De entre os restantes 7 equipamentos, que consideramos de problemática relativamente menor, destacamos os que têm parâmetros de forma $\beta > 2$, pois apesar dos valores serem inflacionados pela ocorrência de um baixo número de avarias, os mesmos espelham a ocorrência de avarias recentes, o que pode significar o aparecimento de fenómenos anómalos provocados pelos 25 anos de funcionamento das locomotivas ou simples coincidência. Assim, sugerimos um acompanhamento da fiabilidade dos seguintes equipamentos: Bomba de óleo, painel rectificador e transmissão ao ventilador dos motores de tracção.

Capítulo 5 – CONCLUSÕES GERAIS

5.1 Resumo do trabalho realizado

Este trabalho foi dividido em cinco capítulos: no primeiro capítulo, para além da apresentação dos objectivos e definição dos conceitos gerais e particulares, foi apresentada uma revisão bibliográfica sobre a Manutenção em geral; no segundo capítulo foram abordados, com mais pormenor, aspectos relacionados com a Fiabilidade, nomeadamente os modelos matemáticos de quantificação e a estratégia de Manutenção Centrada na Fiabilidade; o terceiro capítulo apresenta o objecto de estudo e o seu enquadramento prático; o quarto capítulo reporta ao caso estudado, com aplicação das ferramentas de estudo propostas. Este quinto capítulo apresenta o resumo do trabalho realizado, as conclusões gerais e sugestões para trabalhos futuros.

Garantir a máxima disponibilidade dos equipamentos é um objectivo primordial de qualquer serviço de Manutenção e este facto é, entre outros, determinante para que as empresas consigam responder aos desafios concorrenciais em que estão envolvidas. Os factores que afectam a disponibilidade de um item reparável são, enquanto características de origem, a fiabilidade e a manutibilidade. Em Manutenção não existem modelos puros - as diversas formas de intervenção exigem complementaridade entre si, visando todo o pragmatismo possível na concretização dos objectivos traçados. No panorama industrial actual, em que reduzir os custos e maximizar a qualidade são factores preponderantes de sucesso, surgem novas abordagens estratégicas como o RCM e o TPM, cujo intuito é obter ganhos de competitividade. Uma das práticas recorrentes das empresas é a concentração dos recursos humanos, materiais e financeiros, nos seus produtos ou serviços mais rentáveis. Consequentemente, surgem novas oportunidades de negócio, das quais são exemplo a prestação de serviços de manutenção total ou parcial.

A fiabilidade, enquanto indicador de previsão da ocorrência de avarias, é uma excelente ferramenta que os gestores da Manutenção não podem desprezar. Como conceito probabilístico que é, apoia-se na matemática estatística para ajustamento às mais variadas situações em componentes ou sistemas. O conjunto das premissas sobre as falhas ocorridas num determinado componente de um sistema caracterizam um modelo de fiabilidade. Este pode classificar-se como determinístico, estatístico ou funcional. As exigências sobre os níveis de desempenho a que os equipamentos estão submetidos são passíveis de causar impacto sobre a fiabilidade, inerente ou intrínseca, se característica da concepção, e extrínseca, se por acções de natureza operacional.

Para que a gestão da Manutenção possa ser eficaz, dado o volume de informação usualmente produzido e necessário, recorre-se com maior frequência a bases de dados mais completas. As aplicações de “software” integrado, ao colocarem a Manutenção na gestão global das empresas, têm contribuído para o papel mais científico daquela actividade, afastando a ideia de que o melhor técnico de Manutenção é o mais “desenrascado”. Só assim, de resto, é possível actuar sobre sistemas cada vez mais complexos. Normalmente, estes sistemas já são dotados de dispositivos de controlo de alguns parâmetros de funcionamento.

No caso de equipamentos menos evoluídos como o objecto técnico em causa é necessário verificar o seu estado de condição para o desempenho esperado. Propomos assim, técnicas de controlo da condição e diagnóstico.

Um problema colocado frequentemente aos técnicos de Manutenção consiste na verificação da viabilidade económica de reparação de uma determinada avaria num equipamento. Para além dos factores de ordem estratégica e/ou comercial, que não são exclusivos da função Manutenção, a decisão de substituição ou reparação do equipamento deve obedecer a critérios técnicos e económicos.

5.2 Conclusões

Não obstante a não determinação do modo de falha crítico de todos os equipamentos constituintes deste estudo, pensamos que os objectivos enunciados foram claramente atingidos. Assim:

- Foram estabelecidos os modelos matemáticos para quantificação da fiabilidade;
- Foi estabelecida a curva da fiabilidade em função do tempo;
- Determinaram-se os equipamentos críticos associados ao circuito gerador de potência desta série de locomotivas;
- Foi feita uma aplicação (modelar) prática da estratégia RCM, através da determinação e caracterização do modo de falha crítico de maior relevância no equipamento turbocompressor;
- Foram propostas técnicas de MPC para o modo de falha crítico.

Admitindo que os equipamentos estudados já têm cerca de vinte e cinco anos de serviço, sujeitos às mais diversas condições operacionais, pensamos que os resultados obtidos vão de acordo às nossas expectativas. Os cinco equipamentos determinados como críticos, exigem investimentos avultados para garantir a operacionalidade requerida, que esbarram sempre em

cepticismo de gestão, face à ausência de dados comparativos e rotinas de cálculo que permitam optar por reparação dos mesmos ou substituição por novos equipamentos, em função da fiabilidade.

Relativamente ao modo de falha crítico, ao sugerir a aplicação de uma técnica de MPC que permita um diagnóstico regular da integridade estrutural das válvulas do MD, esperamos uma melhoria da detectabilidade do modo de falha crítico e, desta forma, reduzir a criticidade do efeito, conferindo maior previsibilidade às acções de manutenção com os consequentes ganhos pelo planeamento do trabalho. A mesma técnica é passível de ser estendida às restantes séries de material circulante ferroviário que operam com tecnologia Diesel.

Um estudo mais aprofundado, sobre todas as avarias em questão, é posto em causa devido à impossibilidade de estabelecer uma relação entre os sintomas e as causas, pelo que fica em aberto uma perspectiva de melhoria na organização da Manutenção das oficinas de manutenção corrente.

Finalizando, e em função do contributo de engenharia proporcionado pelo presente trabalho, afirmamos que a generalização da aplicação do modelo a outras famílias de motores e a outros órgãos de outras séries material circulante ferroviário com custos de reparação significativos, irá ter reflexos no planeamento da carga de trabalho dos Grupos Oficinais e na melhoria da fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, com vista à satisfação do cliente final.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

A realização deste trabalho deixa abertas novas perspectivas de desenvolvimento.

Por um lado e desde já, sugerimos a utilização de um “software” integrado que, de uma forma generalista, implica as vantagens já explicitadas no subcapítulo 3.1.6. Especificamente, a aplicação do “software” SAP R3, na EMEF, poderia contribuir para:

- Uniformização do texto descritivo da avaria ou, preferencialmente, através de caixas de validação de texto predefinido;
- Aprofundamento do estudo das tabelas dinâmicas, ferramenta disponibilizada pelo SAP R3, para implementação de rotinas que conduzam directamente a uma folha de cálculo;
- Avaliação das potencialidades da base de dados no que se refere ao cálculo mais rigoroso dos indicadores de fiabilidade.

Por outro lado, e dentro das técnicas da Manutenção, pensamos que as perspectivas de desenvolvimento passam por:

- Implementação do cálculo da fiabilidade a outras famílias de órgãos;
- Desenvolvimento da estratégia RCM como uma filosofia de empresa, através da aplicação da metodologia FME(C)A, estabelecendo critérios de importância estratégica para a escolha de equipamentos, tendo em vista o desenvolvimento empresarial e a satisfação do cliente;
- Aplicação de FME(C)A de concepção aquando da aquisição de novas frotas de material circulante ferroviário;
- Introdução de critérios para determinação dos índices de severidade noutros órgãos;
- Implementação, avaliação e validação de técnicas de MPC;
- Implementação de rotinas de cálculo que permitam tomar a decisão de reparar equipamentos ou substituir por novos.

Finalmente, e pelo facto de o “core Business” da EMEF se centrar na área de Manutenção Industrial, adiantamos possíveis áreas de Investigação & Desenvolvimento, passíveis de enquadramento enquanto funções de apoio ao negócio principal:

- Gestão de energia térmica;
- Mecânica da fractura;
- Gestão de equipamentos;
- Tribologia;
- Gestão de stocks.

O trabalho agora concluído não teria sido possível sem o contributo de algumas das áreas acima referidas pelo que, por uma questão de organização, preconizamos um desenvolvimento sustentado para todas elas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assis, Rui

Manutenção Centrada na Fiabilidade

LIDEL – Edições Técnicas Lda, Outubro **1997**, ISBN 972-757-037-2

Cabral, José Saraiva

Organização e Gestão da Manutenção

LIDEL – Edições Técnicas Lda, Março **1998**, ISBN 972-757-052-6

Cunha, H.E.

O verdadeiro papel da manutenção na gestão empresarial

in Revista Ingenium, 2ª série, Nº 63, Novembro **2001**, págs. 78 a 80

Dhillon, B.S.

Mechanical Reliability: Theory, Models and Applications

AIAA – Education Series, Washington DC, **1988**, ISBN 0-930403-38-X

Elsayed, Elsayed A.

Reliability Engineering

Addison Wesley Longman, Inc., **1996**, ISBN 0-201-63481-3

Farinha, J. M. Torres

Manutenção das Instalações e Equipamentos Hospitalares

Livraria Minerva Editora, Coimbra, **1997**, ISBN 972-8318-16-2

Ferreira, Luis Andrade

Uma Introdução à Manutenção

Publindústria, Edições Técnicas, Porto, 1ª edição, Março **1998**, ISBN 972-95794-4-X

Ferreira, Luís Andrade

A importância se atingir níveis elevados de Disponibilidade e Segurança em Sistemas Complexos

in 7º Congresso Nacional de Manutenção – Viseu, Abril **2002**

Guimarães, Rui Campos e Cabral, José A. Sarsfield

Estatística

McGraw Hill D Portugal, **1977**, ISBN 972–8298–45-5

IDOM

Relatório de Reorganização Industrial do Grupo Oficinal do Barreiro
Barreiro, **1999**

Klaassen, Klaas B.

System Reliability: Concepts and Applications

Hodder and Stoughton, London, **1989**, ISBN 0-340-50142-1

Knezevic, Jezdimir

Systems Maintainability: Analysis, Engineering and Management

Chapman & Hall, London, **1997**, ISBN 0-412-80270-8

Lourenço, Nelson

A prestação de serviços na área da Manutenção em abordagem de serviço integrado e responsabilização de resultados

in 7º Congresso Nacional de Manutenção – Viseu, Abril **2002**

Lakatos, E. e Marconi, M.

Metodologia Científica

2ª Ed., Atlas, Brasil, São Paulo (**1992**)

MIIT – Manutenção Industrial Informatizada e Tecnologia, Lda

Organização da Manutenção

DOC:FOR Refª 01 de 15 – 01 – **1993**

Modarres, Mohammad

Reliability and Risk Analysis

Marcel Dekker, Inc., New York, **1993**, ISBN 0-8247-8958-X

Monchy, François

La fonction maintenance

Masson, Paris, **1996**, ISBN 2-225-85518-8

O'Connor, Patrick D. T.

Practical Reliability Engineering – 3rd ed.

John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, **1991**, ISBN 0-471-92696-5

Pinto, Victor M.

Gestão da Manutenção

Edição IAPMEI, Lisboa, Julho **1994**, ISBN 972-9205-57-4

Pires, José E. Costa

O Absentismo e a produtividade do trabalho: Caso EMEF do sector ferroviário

Dissertação de Mestrado, **2001**, Lisboa

Rodrigues, Carmona

O Transporte de Mercadorias: Liberalização e Logística

in 5º Congresso Nacional da ADFER – Lisboa, Março **2004**

Souris, Jean-Paul

La Maintenance, Source de Profits / Manutenção Industrial, Custo ou Benefício ?

Original: Les editions d'organisation, **1990**

LIDEL – Edições Técnicas Lda, 1992, ISBN 972-9018-25-1

Stamatis, D.H.

Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution

ASQC, Milwaukee, **1995**, ISBN 0-87389-300-X

Viegas, José Carlos Oliveira

Estudo de fiabilidade de uma unidade de tiragem de pasta de papel

Tese de Mestrado submetida à UNL, Lisboa, **1997**

<http://www.relexsoftware.com>

<http://www.RealiaSoft.com.br>

<http://elj.warwick.ac.uk/jilt/99-2/hughes.html>

<http://www.cp.pt>

ANEXOS


Anexo I – Ficha Técnica da Série de Locomotivas Diesel – Eléctricas Bombardier 1961 / 1973

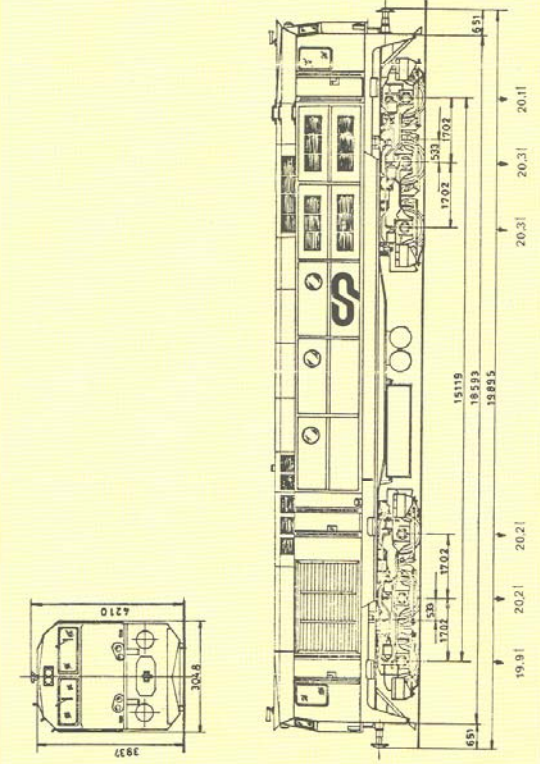
Ficha Técnica de Locomotivas Diesel

Número de Série: 1961 / 1973
 Número de unidades: 12
 Ano de entrada ao Serviço: 1979

Tipo da Transmissão: Eléctrica
 Natureza do Serviço: Linha
 Bitola da Via: 1668

Ficha n.º 14
 Edição 1987





Construtores

PARTES MECÂNICAS BOMBARDIER (ex. MLW)
 MOTOR DIESEL BOMBARDIER (ex. MLW)
 TRANSMISSÃO GE-Canadá
 FREIO KNORR-BREMSE

Características gerais

TIPO DA LOCOMOTIVA (Construtor) MXS-627
 POTÊNCIA NOMINAL DA LOCO. (Rodas) 2250/1950 CV
 Co. Co
 DIÂMETRO DOS RODADOS 1016 mm
 NÚMERO DE CABINAS DE CONDUÇÃO 2
 FREIO PNEUMÁTICO Ar-vácuo -DUAL-
 FREIO DINÂMICO Não tem
 3
 AREIROS (Número) SFA DEUTA
 SISTEMA DE HOMEM-MORTO SFA DEUTA
 COMANDO EM UNIDADES MÚLTIPLAS ATÉ 4
 LUBRIFICADORES DE VERDUGOS Vogel
 REGISTRADOR DE VELOCIDADE Hasler

Características de funcionamento

Traction

VELOCIDADE MÁXIMA 120 km/h
 ESFORÇO DE TRACÇÃO NO ARRANQUE 45000 kg ($\mu = 0,38$)
 ESFORÇO DE TRACÇÃO NO REG. CONT. 28 200 kg
 VELOCIDADE CORRESPONDENTE AO REGIME CONTÍNUO 18,75 km/h
 ESFORÇO DE TRACÇÃO A VELOC. MÁX. 5500 kg

Freio dinâmico

ESFORÇO MÁXIMO DAS RODAS Não tem
 VELOCIDADE CORRESPONDENTE Não tem

Pesos (t)

	Em vazio	Aprovisionamentos
MOTOR DIESEL	19,00	COMBUSTÍVEL 3,400
GERADOR PRINCIPAL	5,320	ÓLEO DO DIESEL 0,810
MOTOR DE TRACÇÃO	6x3,160	ÁGUA DE REFRIG. 1,500
BOGIES COMPLETOS	2x2,5,28	AREIA 0,600
		PESSOAL E FERRAM. 0,200
Total	6,510	

PESO EM TARA 114,5
 PESO EM ORDEM DE MARCHA 121,0
 PESO ADEQUENTE 121,0

Motor Diesel de Tracção

QUANTIDADE 1
 BOMBARDIER (ex. MLW)
 CONSTRUTOR 251/E
 TIPO 4

NÚMERO DE TEMPOS DE CILINDROS V 16
 DIÂMETRO E CURSO 228 6x266,7 mm
 CILINDRADA TOTAL 175 l
 SOBREALIMENTAÇÃO Sim
 POTÊNC. NOMIN. (U. J. C.) 6233 3042 CV
 VELOCIDADE NOMINAL 1050 rpm
 POTÊNCIA DE UTILIZAÇÃO 3042 CV

Transmissão de movimento

CONSTRUTOR GE-Canadá
 TIPO 1- Alternador GTA-17 PC 1
 6- Motores de Tracção CGE-785 FA 1

CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS Suspensão pelo nariz
 Ventilacão forçada
 Relação das engrenagens 81:22

Equipamento de aquecimento eléctrico

CONSTRUTOR AEG
 CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS 1500 V, 50 Hz 420 KVA
 443 CV

Anexo II – Histórico das avarias das locomotivas da série 1960

LOCOMOTIVA 1962

Modo de Avaria	Tipo	TAM	Local	Ínicio	Fim	Kms	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve		
Fuga de Óleo	MC	VAV	1962	26.01.1999	17:00	05.02.1999	15:00	1.768.992	51.423	238	0	FUGA DE OLEO-AG.CX.RENK
RCF	MP	V5	1962	27.02.1999	8:00	05.03.1999	17:00	1.772.099	51.618	153	279	AV.REG.CENTRAL FORCA
Fuga de Gasóleo	MC	VAV	1962	17.03.1999	18:00	18.03.1999	14:00	1.774.575	51.749	20	121	FUGA GASOLEO INJECTORES
	MC	VAV	1962	06.05.2000	8:00	09.05.2000	10:00	1.851.167	54.803	74	209	FUGA GASOLEO(REGUA)
	MC	VAV	1962	24.05.2000	10:00	25.05.2000	11:00	1.856.230	55.006	25	46	FUGA DE GASOLEO
	MC	VAV	1962	05.11.2002	0:30	05.11.2002	3:00	1.998.993	60.790	3	175	TUBO DO GASOLEO PARTIDO
	MC	VAV	1962	12.04.2003	15:00	12.04.2003	17:00	2.028.346	62.079	2	93	TUBO DE ALTA PRESSÃO PARTIDO
	MC	VAV	1962	18.04.2003	0:30	18.04.2003	7:00	2.029.572	62.120	7	128	FUGA DE GASÓLEO PELO TUBO 3R
	MC	VAV	1962	20.05.2003	4:30	20.05.2003	5:30	2.034.417	62.350	1	60	TUBO ALTA PRESSÃO PARTIDO
	MC	VAV	1962	23.08.2003	13:00	23.08.2003	15:00	2.055.279	63.200	2	94	FUGA DE GASÓLEO
Radiador	MC	VAV	1962	18.08.1999	17:00	25.08.1999	12:00	1.798.605	52.805	163	0	SUB.RADIADOR+BATERIAS.
	MC	VAV	1962	27.10.1999	8:00	29.10.1999	14:00	1.812.849	53.354	54	286	FUGA AGUA RADIADORES
	MP	V5	1962	29.10.1999	14:00	29.10.1999	17:00	1.812.849	53.354	3	0	FUGA AGUA RADIADORES
	MC	VAV	1962	12.11.1999	12:00	16.11.1999	9:00	1.814.855	53.441	93	0	SUBST.RADIADOR+GAV.940
	MC	VAV	1962	17.12.1999	14:00	20.12.1999	10:00	1.822.371	53.732	68	0	SUBST.RADIADORES
	MC	VAV	1962	15.02.2000	17:00	16.02.2000	20:00	1.835.651	54.238	27	0	SUBST. RADIADORES
Fuga de Água	MC	VAV	1962	09.06.1999	18:00	11.06.1999	19:00	1.784.828	52.203	49	192	FUGA AGUA MOTOR DIESEL
	MC	VAV	1962	31.07.1999	8:00	02.08.1999	16:00	1.795.399	52.660	56	46	FUGA DE AGUA
	MC	VAV	1962	09.12.1999	8:00	10.12.1999	13:00	1.821.225	53.688	29	207	FUGA DE AGUA
	MC	VAV	1962	15.12.1999	15:00	17.12.1999	8:00	1.822.371	53.732	41	98	FUGA DE AGUA
Trans. Ventilador	MC	VAV	1962	20.05.2002	12:50	12.06.2002	17:00	1.974.497	59.744	556	93	TRANSMISSÃO MOTOR DIESEL - VENT
Turbocompressor	MP	VO1	1962	20.12.2000	8:00	21.12.2000	19:00	1.898.927	56.687	35	160	VO1 - 1962 + SUBST.TURBO COMPRES.

LOCOMOTIVA 1963

Modo de Avaria	Tipo	TAM	Local	Início	Fim	Hrs	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve		
Fuga de Óleo	MC	VAV	1963	25.01.1999	8:00	25.01.1999	11:00	1.732.157	50.070	3	260	NÍVEL DE ÓLEO BAIXO
	MC	VAV	1963	25.03.1999	0:00	26.03.1999	10:00	1.745.745	50.623	34	152	V5+ BAIXA PRESSAO OLEO
	MP	V5	1963	28.06.1999	17:00	01.07.1999	15:00	1.750.101	50.860	70	1	BX.PRESS.OLEO+CABO CVL
	MC	VAV	1963	15.12.1999	13:00	15.12.1999	15:00	1.780.180	52.153	2	187	BAIXA PRESSAO DE ÓLEO (ABASTECER)
	MC	VAV	1963	13.04.2000	18:00	14.04.2000	17:00	1.802.394	53.049	23	385	NÍVEL DE ÓLEO BAIXO
	MC	VAV	1963	15.05.2000	8:00	15.05.2000	11:00	1.808.771	53.293	3	255	OLEO NO CARTER
	MC	VAV	1963	24.10.2002	8:00	24.10.2002	17:00	1.954.105	59.020	9	111	ACT. DE BAIXA PRESSÃO D'ÓLEO
RCF	MC	VAV	1963	02.07.2002	8:00	15.07.2002	20:00	1.934.472	58.265	324	0	FALTA DE POTÊNCIA
Fuga de Gasóleo	MC	VAV	1963	20.07.2000	10:00	21.07.2000	12:00	1.819.653	53.756	26	258	FUGA DE GASOLEO
	MC	VAV	1963	18.08.2000	7:00	19.08.2000	15:00	1.828.175	54.054	32	62	FUGA GASOLEO/TRAJECTO
	MC	VAV	1963	31.08.2000	11:00	31.08.2000	12:00	1.829.447	54.119	1	163	FUGA DE GASOLEO
	MC	VAV	1963	03.04.2002	8:00	04.04.2002	17:00	1.916.758	57.545	33	208	TUBO DE ALTA PRESSÃO DO GASÓLEO PART.
	MC	VAV	1963	20.04.2002	8:00	20.04.2002	10:00	1.918.507	57.635	2	87	FUGA GASÓLEO (TUBO DO MANÓMETRO
	MC	VAV	1963	04.07.2003	8:00	04.07.2003	17:00	2.002.336	60.972	9	148	FUGA DE GASOLEO
Fuga de Água	MP	V5	1963	27.08.2001	8:00	28.08.2001	19:00	1.901.268	56.894	35	183	ACTUAÇÃO ALTA TEMPERATURA
Compressor	MC	VAV	1963	11.10.2002	6:00	19.10.2002	17:00	1.953.025	58.982	203	46	AVARIA NO COMPRESSOR+CAIXA SIFA+GAV
Turbo Compres.	MP	V5	1963	19.11.2003	8:00	19.11.2003	18:00	2.027.971	61.968	10	161	SUBSTITUIÇÃO DO TURBO COMPRESSOR

LOCOMOTIVA 1964

Modo de Avaria	Tipo	TAM	Local	Início		Fim		Kms	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve
Fuga de Óleo	MC	VAV	1964	23.11.1999	18:00	24.11.1999	9:00	1.865.851	52.956	15	2	ACT.BAIXA PRESSAO OLEO
	MP	V4	1964	02.05.2003	8:00	05.05.2003	17:00	2.066.358	60.894	81	183	FUGA D'ÓLEO NO MD
RCF	MC	VAV	1964	23.01.1999	13:00	07.02.1999	17:00	1.801.798	50.257	364	49	AG.REGULADOR DE FORÇA
	MC	VAV	1964	13.11.2000	8:00	13.11.2000	17:00	1.943.426	55.990	53	0	NÃO METE FORÇA
	MC	VAV	1964	20.11.2000	8:00	20.11.2000	19:00	1.944.962	56.050	11	159	SUBSTITUIR RCF
Fuga de Gasóleo	MC	VAV	1964	19.01.2000	10:00	20.01.2000	11:00	1.880.834	53.490	25	19	FUGA DE GASOLEO
	MC	VAV	1964	15.06.2003	0:00	15.06.2003	3:00	2.075.387	61.257	3	31	FUGA DE GASOLEO
Trans. Ventilador	MC	VAV	1964	08.09.2001	5:20	10.09.2001	14:00	1.979.855	57.470	57	61	TRANSMISSÃO AO REGULADOR
Painel Rectificd.	MC	VAV	1964	09.08.2002	11:30	12.08.2002	19:00	2.034.057	59.729	80	44	FALTA DE POTÊNCIA ELÉCTRICA
Turbo Compressor	MC	VAV	1964	30.05.2002	8:00	01.06.2002	16:00	2.019.770	59.210	56	39	SUBSTITUIR TURBO COMPRESSOR
	MC	TRE	1964	13.06.2003	8:00	13.06.2003	17:00	2.075.349	61.252	9	16	SUBSTITUIR TURBO COMPRESSOR
Fuga água.	MC	VAV	1964	11.06.2003	18:00	12.06.2003	15:00	2.075.348	61.252	21	145	ACTUAÇÃO DO BAIXO NÍVEL DA ÁGUA

LOCOMOTIVA 1965

Modo de Avaria	Tipo	TAM	Local	Início	Fim	Kms	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve		
Fuga de Óleo	MC	VAV	1965	03.03.1999	11:00	03.03.1999	16:00	1.638.285	41.934	5	90	ACT.BAIXA PRESSAO OLEO
	MC	VAV	1965	15.03.1999	8:00	15.03.1999	10:00	1.641.938	42.079	2	188	ACTUAÇÃO DA BAIXA PRESSAO ÓLEO
	MC	VAV	1965	07.04.1999	3:00	07.04.1999	16:00	1.645.711	42.233	13	185	AV.BAIX.PRES.OLEO(ALF.)
	MC	VAV	1965	23.06.1999	8:00	23.06.1999	16:00	1.662.303	42.922	8	46	ACT.BX.PRESS.OLEO
	MC	VAV	1965	19.07.1999	8:00	19.07.1999	10:00	1.666.130	43.097	2	253	PASSAGEM OLEO P/ESCAPE
	MC	VAV	1965	19.04.2000	10:00	19.04.2000	12:00	1.693.520	44.150	2	113	BAIXA PRESSAO OLEO
RCF	MC	VAV	1965	06.11.2001	11:39	07.11.2001	19:00	1.792.469	48.393	31	16	PARAGEM MOTOR DIESEL (SUBST. RCF)
Fuga de Gasóleo	MC	VAV	1965	27.01.1999	8:00	27.01.1999	16:00	1.631.745	41.661	8	140	FUGA DE GASOLEO
	MP	V5	1965	07.02.2001	8:00	07.02.2001	15:00	1.736.177	46.037	7	205	FUGA DE GASÓLEO
	MC	VAV	1965	23.03.2002	13:00	23.03.2002	15:00	1.816.855	49.443	2	212	TUBO ALTA PRESSÃO PARTIDO
Fuga de Água	MC	VAV	1965	11.05.1999	17:00	12.05.1999	12:00	1.655.243	42.616	19	0	FUGA AGUA CABEÇA 4R
	MC	VAV	1965	26.03.2003	3:00	26.03.2003	10:00	1.869.144	51.650	7	41	FUGA DE ÁGUA - VALVULA RETENÇÃO
Turbo Compressor	MC	VAV	1965	17.06.2000	4:00	21.06.2000	12:00	1.701.809	44.553	104	83	SEM FORÇA
	MC	VAV	1965	13.06.2002	8:00	15.06.2002	17:00	1.829.993	50.016	57	184	AVARIA DO H.M.+ FALTA POTÊNCIA

LOCOMOTIVA 1966

Modo de Avarias	Tipo	TAM	Local	Início	Fim	Kms	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve		
Fuga de Óleo	MC	VAV	1966	14.06.1999	22:00	15.06.1999	15:00	1.804.388	55.289	17	77	ACT.B.PRESS.OLEO CX.GER
	RC	RAV	1966	20.08.1999	17:00	09.09.1999	16:00	1.815.542	55.791	479	0	VED.FUGA DE OLEO TRANS.
	MC	VAV	1966	13.11.1999	12:00	15.11.1999	15:00	1.830.901	56.332	51	233	BAIXA PRESSAO OLEO
	MC	VAV	1966	16.11.1999	8:00	16.11.1999	14:00	1.831.026	56.335	6	17	BAIXA PRESSAO OLEO
	MC	VAV	1966	16.11.1999	22:00	19.11.1999	18:00	1.831.029	56.338	68	5	ACT.BAIXA PRESSAO OLEO
	MC	VAV	1966	11.04.2003	11:00	11.04.2003	14:00	2.040.218	64.958	3	163	ACTUAÇÃO DE BAIXA PRESSÃO DE ÓLEO
Cabeça dos Cilindros	MC	VAV	1966	14.12.1999	17:00	17.12.1999	15:00	1.837.768	56.586	70	0	SUBST.CABECA MOT.DIESEL
	MC	VAV	1966	31.01.2000	10:00	02.02.2000	12:00	1.848.006	57.004	50	209	SUB.CAB.1L P/PASSAGEM AGUA P/FEND
Fuga de Gasóleo	MC	VAV	1966	02.10.1999	15:00	08.10.1999	12:00	1.825.024	56.035	141	235	TUBO GASOLEO REBENTADO
	MC	VAV	1966	25.09.2001	10:00	25.09.2001	10:30	1.949.574	61.212	1	116	TUBO DE ALTA PRESSÃO PARTIDO
	MC	VAV	1966	12.12.2001	15:00	12.12.2001	15:30	1.966.341	61.876	1	164	Sub. tubo alta pressão cilindro 8E
	MP	V5	1966	10.02.2003	8:00	10.02.2003	17:00	2.027.722	64.457	9	151	FUGA DE GASÓLEO
	MC	VAV	1966	17.04.2003	8:00	17.04.2003	12:00	2.040.651	64.987	4	111	FUGA DE GASÓLEO
Fuga de Água	MC	VAV	1966	08.06.1999	19:00	11.06.1999	17:00	1.803.801	55.255	70	8	FUGA AGUA MOTOR DIESEL
	MC	VAV	1966	21.07.2000	8:00	21.07.2000	17:00	1.878.011	58.198	9	136	ACT.ALTA TEMPERATURA
	MC	VAV	1966	12.07.2001	8:00	12.07.2001	19:30	1.936.547	60.650	12	159	Act.alta temperatura
	MC	VAV	1966	30.05.2003	8:00	04.06.2003	17:00	2.047.744	65.301	129	145	ACTUAÇÃO DA ALTA TEMPERATURA - ENSA
Compressor	MC	VAV	1966	17.02.2000	16:00	27.02.2000	2:00	1.852.221	57.173	226	0	SUB.COMPRES.PRINCIPAL
Transmissão Ventilador	MC	VAV	1966	27.06.2000	8:00	09.07.2000	8:00	1.873.934	58.063	288	0	SUB.TRANS.VENTONHA
	MC	VAV	1966	29.05.2001	12:07	22.06.2001	15:00	1.932.912	60.514	579	65	TRANSMISSÃO DA VENTONHA GRIPADA
Radiador	MP	VO1	1966	26.07.2001	8:00	05.08.2001	17:00	1.939.080	60.764	249	208	ENSAIO DE POTÊNCIA + AV.RADIADORES
	MC	VAV	1966	08.08.2003	8:00	14.08.2003	8:00	2.061.042	65.806	144	87	TROCA DE RADIADORES
Turbocompressor	MC	VAV	1966	22.11.2000	8:00	24.11.2000	16:00	1.898.298	59.134	56	423	SUBSTITUIR TURBO COMPRESSOR

LOCOMOTIVA 1967

Modo de Avaria	Tipo	TAM	Local	Início		Fim		Kms	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve
Fuga de Óleo	MC	VAV	1967	29.11.2002	9:00	29.11.2002	10:30	2.112.785	64.211	2	67	BAIXA PRESSÃO DO ÓLEO
	MC	VAV	1967	30.04.2003	8:00	30.04.2003	14:00	2.130.684	64.942	6	88	FUGA D'ÓLEO
Cabeça dos Cilindros	MP	V21	1967	17.01.2002	8:00	17.01.2002	19:00	2.055.425	61.865	11	160	SUBST. CABEÇA 2 L
	MP	V5	1967	12.02.2003	8:00	13.02.2003	17:00	2.116.272	64.389	33	1	SUBST.CABEÇA 5R DO MOT.DIESEL
Fuga de Gasóleo	MC	VAV	1967	17.03.2000	14:00	20.03.2000	8:00	1.939.245	57.050	66	117	FUGA DE GASOLEO
	MC	VAV	1967	15.05.2003	6:00	15.05.2003	15:00	2.134.314	65.079	9	181	TUBO DE ALTA PRESSAO 5. ESQ.
Bomba de Óleo	RC	RAV	1967	14.02.2000	8:00	10.03.2000	16:00	1.937.120	56.975	608	233	SUB.TRANSM.BOMBA OLEO
Fuga de Água	MC	VAV	1967	24.01.2000	15:00	25.01.2000	8:00	1.930.957	56.754	17	142	FUGA DE AGUA
	MC	VAV	1967	29.04.2002	22:35	30.04.2002	13:45	2.078.210	62.764	15	11	PARAGEM MOT.DIESEL P/FALTA D'ÁGUA
	MC	VAV	1967	06.11.2003	8:00	06.11.2003		2.170.836	66.560	16	183	SUBST. TURBO P/ FUGA DE ÁGUA
Compressor	MC	VAV	1967	18.07.2002	10:00	18.07.2002	16:00	2.093.277	63.360	6	90	AV. NO COMPRESSOR
	MP	V4	1967	19.12.2002	8:00	26.12.2002	17:00	2.116.191	64.367	177	97	AG. COMPRESSOR
Turbocompres.	MC	VAV	1967	11.04.2000	15:00	11.04.2000	17:00	1.941.159	57.140	2	0	SUBT.TURBO COMPRESSOR

LOCOMOTIVA 1968

Modo de Avarias	Tipo	TAM	Local	Início	Fim	Kms	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve		
Fuga de Óleo	MC	VAV	1968	30.12.1999	0:00	31.12.1999	12:00	1.729.892	52.319	36	299	FUGA DE OLEO
	MC	VAV	1968	09.05.2000	8:00	10.05.2000	11:00	1.756.059	53.365	27	88	AV.FUGA DE OLEO
Radiador	MC	VAV	1968	02.02.2001	16:57	03.02.2001	17:00	1.781.540	54.231	24	0	SUB.RADIADOR LADO DIREITO
	MP	V5	1968	19.04.2002	8:00	19.04.2002	17:00	1.864.840	57.799	9	163	SUBSTITUIR RADIADORES
	MC	VAV	1968	02.11.2001	11:30	03.11.2001	17:00	1.833.405	56.453	30	67	DEFICIÊNCIA NO SISTEMA DE REFRIGERA
Fuga de Gasóleo	MC	VAV	1968	24.06.1999	8:00	25.06.1999	17:00	1.677.845	50.338	33	255	FUGA DE GASOLEO
	MC	VAV	1968	10.07.1999	15:00	12.07.1999	17:00	1.681.748	50.482	50	0	FUGA DE GASOLEO
	MC	VAV	1968	15.07.2003	0:00	15.07.2003	3:00	1.942.829	61.025	3	104	TUBO DE ALTA PRESSAO PARTIDO
Fuga de Água	MC	VAV	1968	13.11.1999	15:00	14.11.1999	13:00	1.718.153	51.873	22	214	FUGA AGUA REFR.T.COMPR.
Compressor	MC	VAV	1968	15.07.1999	8:00	15.07.1999	10:00	1.682.519	50.520	2	63	COMPRESSOR NAO PARA
RCF	MP	V4	1968	03.09.2001	8:00	11.09.2001	17:00	1.825.035	56.034	201	183	POTÊNCIA BAIXA

LOCOMOTIVA 1969

Modo de Avaria	Tipo	TAM	Local	Início	Fim	Kms	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve		
Fuga de Óleo	MC	VAV	1969	20.12.1999	22:00	21.12.1999	10:00	1.629.100	52.320	12	416	ACT.BAIXA PRESSAO OLEO
	MC	VAV	1969	17.02.2000	6:00	18.02.2000	9:00	1.644.994	52.877	27	158	BAIXA PRESSAO OLEO
Radiador	MC	VAV	1969	03.03.2000	8:00	03.03.2000	11:00	1.649.402	53.033	3	0	VALV.DESC.SIST.REFRIG.
Fuga de Gasóleo	MC	VAV	1969	17.11.2001	0:00	17.11.2001	1:00	1.695.337	54.994	1	128	SUBS. TUBO DE ALTA PRESSÃO
	MC	VAV	1969	23.04.2002	8:30	23.04.2002	10:30	1.722.908	56.196	2	25	FUGA DE GASÓLEO
Fuga de Água	MC	VAV	1969	10.10.2000	17:25	11.10.2000	11:00	1.680.524	54.244	18	197	FALTA DE ÁGUA MOTOR DIESEL
	MC	VAV	1969	14.11.2000	16:00	16.11.2000	12:00	1.683.691	54.496	44	0	FUGA D'ÁGUA
	MC	VAV	1969	14.11.2000	8:00	14.11.2000	16:00	1.683.691	54.496	8	207	FUGA D'ÁGUA
	MC	VAV	1969	22.10.2001	8:56	24.10.2001	11:30	1.691.596	54.817	51	40	CIRCUITO D'ÁGUA OBSTRUÍDO
	MC	VAV	1969	27.10.2001	8:00	02.11.2001	10:00	1.692.206	54.857	146	0	BAIXO NIVEL D'ÁGUA, AG. VALVULA
	MC	VAV	1969	30.04.2002	13:00	30.04.2002	17:00	1.724.472	56.261	4	171	PARAGEM MOT.DIESEL FALTA D'ÁGUA
Compressor	MC	VAV	1969	30.03.2003	15:00	04.04.2003	19:00	1.786.438	58.730	124	22	AVARIA DO COMPRESSOR
Trans. Ventil.	MC	TRE	1969	08.09.2003	12:00	09.10.2003	17:00	1.802.375	59.471	749	255	TRANSM. DO VENTILADOR DO MOTOR

LOCOMOTIVA 1970

Modo de Avaria	Tipo	TAM	Local	Início	Fim	Kms	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve		
Painel Rectif.	MC	VAV	1970	16.08.2001	0:00	22.09.2001	17:00	1.886.710	54.375	905	126	SUBST.BATERIAS + REP.PAINEL RECTIFI
Fuga de Óleo	MC	VAV	1970	04.06.2002	17:00	05.06.2002	15:00	1.933.640	56.314	22	0	ANÁLISE P/CONSUMO EXCESSIVO D'ÓLEO
	MP	V5	1970	02.04.2003	8:00	08.04.2003	19:00	1.983.796	58.431	155	110	FUGA DE ÓLEO NO MOTOR DIESEL
Fuga Gasóleo	MC	VAV	1970	26.12.2001	11:00	26.12.2001	15:00	1.905.057	55.155	4	186	FUGA DE GASÓLEO
Fuga de Água	MC	VAV	1970	07.11.1999	17:00	08.11.1999	16:00	1.791.894	50.365	23	0	AG.MANG.CIR.REFRIGER.
	MC	VAV	1970	09.07.2003	2:00	12.07.2003	19:00	1.994.741	58.927	89	19	FUGA DE ÁGUA PELO MOTOR DIESEL
Turbo Compressor	MC	VAV	1970	21.10.1999	6:00	22.10.1999	14:00	1.789.005	50.245	32	212	SUBST.TURBO COMPRESSOR
	MP	V5	1970	27.09.2003	8:00	29.09.2003	17:00	2.010.144	59.532	57	183	SUBSTITUIR TURBO COMPRESSOR
Compressor	MC	VAV	1970	09.06.1999	18:00	11.06.1999	12:00	1.756.787	48.923	42	168	FALTA DE POTENCIA
	MC	VAV	1970	20.07.2002	0:00	20.07.2002	1:30	1.942.372	56.681	2	55	REGULADOR DO COMPRESSOR
Ventoinha Vent.	MC	VAV	1970	27.04.1999	8:00	28.04.1999	12:00	1.750.371	48.633	28	110	RUIDO CX.VENTONHA
RCF	MC	VAV	1970	14.06.1999	12:00	15.06.1999	8:00	1.756.787	48.923	20	72	SUBST.REGULADOR FORÇA
	MC	VAV	1970	22.07.2000	0:00	24.07.2000	11:00	1.835.806	52.236	59	178	SUB.REG.CENTRL FORÇA
Cabeça dos Cilindros	MC	VAV	1970	09.09.1999	14:00	13.09.1999	17:00	1.780.900	49.883	99	0	AG.CABEÇA MOT.DIESEL
	RC	RAV	1970	09.06.2003	8:00	08.07.2003	16:00	1.994.736	58.910	704	63	REPARAÇÃO DO MOTOR DIESEL DEVIDO À

LOCOMOTIVA 1971

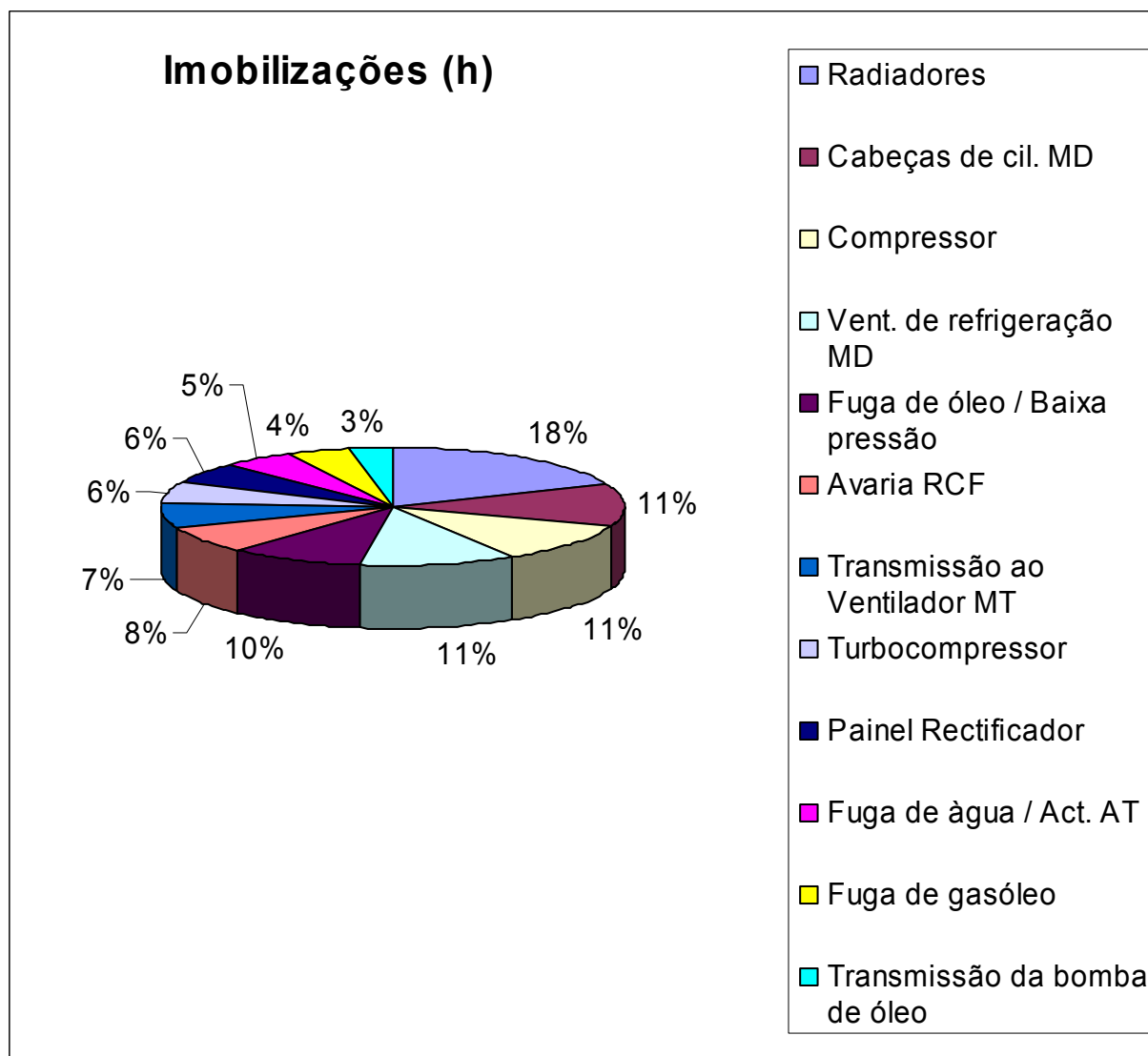
Modo de Avaria	Tipo	TAM	Local	Início	Fim	Kms	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve		
Fuga de Óleo	MC	VAV	1971	09.09.1999	11:00	09.09.1999	13:00	1.959.499	55.253	2	211	FUGA DE OLEO
	MC	VAV	1971	09.03.2000	12:00	09.03.2000	17:00	1.989.822	56.587	5	0	FUGA DE OLEO CARTER
	MC	VAV	1971	11.03.2000	8:00	13.03.2000	16:00	1.990.663	56.616	56	39	FUGA DE OLEO
	MC	VAV	1971	29.06.2000	8:00	29.06.2000	17:00	2.003.072	57.120	9	38	FUGA DE OLEO
	MC	VAV	1971	03.10.2002	8:00	08.10.2002	17:00	2.123.417	62.164	129	21	FUGA D'ÓLEO P/ARREFECEDOR
Fuga de Gasóleo	MC	VAV	1971	13.07.1999	8:00	13.07.1999	16:00	1.951.453	54.910	8	111	FUGA DE GASOLEO
	MC	VAV	1971	16.12.1999	22:00	18.12.1999	13:00	1.976.638	55.988	39	7	FUGA GASOLEO P/CILIND.
	MC	VAV	1971	18.11.2001	0:00	18.11.2001	1:00	2.070.256	59.956	1	55	SUBSTITUIR TUBO DE ALTA PRESSÃO
	MC	VAV	1971	20.12.2002	13:00	24.12.2002	16:00	2.134.317	62.621	99	116	FUGA DE GASÓLEO
Radiador	MC	VAV	1971	08.04.1999	17:00	03.05.1999	18:00	1.937.795	54.337	601	0	AG.RADIADORES
	MC	VAV	1971	06.04.2000	18:00	08.04.2000	17:00	1.994.326	56.748	47	0	SUBSTITUIR RADIADORES
	MP	V5	1971	18.09.2000	8:00	30.09.2000	8:00	2.017.295	57.726	288	22	V5-1971-AG.RADIADORES+CABEÇA MOT.DI
	MC	VAV	1971	23.01.2001	8:00	24.01.2001	19:00	2.029.143	58.273	35	142	SUBSTITUIR RADIADORES FURADOS
	MC	VAV	1971	09.02.2001	11:00	24.04.2001	17:00	2.031.178	58.354	1782	138	SUBSTITUIR RADIADORES
	MP	V5	1971	18.03.2003	10:30	18.03.2003	18:00	2.148.534	63.244	8	168	SUBSTITUIR RADIADOR LADO DIREITO +
Fuga de Água	MC	VAV	1971	17.01.2000	8:00	17.01.2000	10:00	1.979.023	56.141	2	305	TUBO DE H2O DO VASO DE ESPANSÃO
	MC	VAV	1971	10.02.2000	15:00	11.02.2000	10:00	1.981.804	56.291	19	262	FUGA DE AGUA
	MC	VAV	1971	26.03.2002	5:30	27.03.2002	17:00	2.094.203	60.919	36	0	ACTUAÇÃO DA ALTA TEMPERATURA
Cabeça do Cilindro	MC	VAV	1971	19.01.2000	17:00	30.01.2000	10:00	1.979.523	56.162	257	0	SUBST.CABEÇA E EMB.Nº5
	MP	V5	1971	18.09.2000	8:00	30.09.2000	8:00	2.017.295	57.726	288	22	V5-1971-AG.RADIADORES+CABEÇA MOT.DI
Ventoinha Refrigerador	MC	VAV	1971	12.04.2000	8:00	19.04.2000	19:00	1.994.854	56.766	179	87	AV.VENT.REFRIGERAÇÃO
	MC	VAV	1971	22.04.2000	8:00	05.05.2000	8:00	1.995.256	56.786	312	61	RUIDO ANORM.VENT.REFR.
Compressor	MC	VAV	1971	05.06.2000	8:00	05.06.2000	16:00	2.002.458	57.089	8	135	AV REG. DO COMPRESSOR
	MC	VAV	1971	07.06.2000	15:00	27.06.2000	18:00	2.002.859	57.111	483	0	RUIDO ANORMAL COMPRES.
	MC	VAV	1971	26.09.2002	1:00	26.09.2002	3:00	2.122.399	62.127	2	104	REGULADOR DO COMP. ISOLADO
Bomba Óleo	MC	VAV	1971	30.01.2001	8:00	30.01.2001	12:00	2.029.470	58.276	4	137	BOMBA D'ÓLEO AVARIADA
Turbo Compres.	MC	VAV	1971	21.12.1999	8:00	04.01.2000	15:00	1.976.655	56.000	343	15	SUBST.TURBO COMPRESSOR

LOCOMOTIVA 1972

Modo de Avaria	Tipo	TAM	Local	Início	Fim	Kms	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve		
Fuga de Óleo	MC	VAV	1972	04.03.2000	18:00	11.03.2000	17:00	1.759.872	52.021	167	0	SUB.OLEO MOT.DIESEL
	MC	VAV	1972	28.09.2001	11:00	28.09.2001	17:00	1.859.478	56.170	6	40	FUGA D'ÓLEO
	MC	VAV	1972	30.07.2002	13:00	30.07.2002	16:00	1.868.107	56.578	3	88	BAIXA PRESSÃO D'ÓLEO
	MC	VAV	1972	05.11.2002	8:00	05.11.2002	12:00	1.885.288	57.298	4	87	FUGA D'ÓLEO
Fuga de Gasóleo	MC	VAV	1972	25.11.1999	10:00	25.11.1999	12:00	1.735.321	51.016	2	168	TUBO DE GASOLEO ROTO.
	MC	VAV	1972	29.11.1999	8:00	29.11.1999	10:00	1.736.062	51.047	2	92	TUBO GASOLEO PARTIDO
	MC	VAV	1972	25.01.2000	13:00	26.01.2000	15:00	1.749.100	51.602	26	92	FUGA DE GASOLEO.
	MC	VAV	1972	03.07.2000	17:00	04.07.2000	10:00	1.778.309	52.781	17	313	TUBO GASOLEO PARTIDO
	MC	VAV	1972	15.06.2001	3:30	15.06.2001	11:45	1.839.404	55.321	8	86	FUGA DE GASÓLEO EM ALFARELOS
Radiador	MC	VAV	1972	20.01.1999	8:00	21.01.1999	10:00	1.683.607	48.840	26	22	DEFIC.NO SIST.REFRIG.
Fuga de Água	MC	VAV	1972	29.07.1999	6:00	30.07.1999	18:00	1.720.984	50.414	36	277	ACT.ALT.TEMPERATURA+V5
	MC	VAV	1972	26.08.2001	13:00	26.08.2001	17:00	1.851.615	55.857	4	92	SUBST/ JUNTA DE COLETOR DA AGUA
Cabeça Cilindro	MC	VAV	1972	29.10.2000	0:00	03.11.2000	17:00	1.798.527	53.603	137	7	SUBST.TURBO + CABEÇA 1R
Compressor	MC	VAV	1972	30.06.1999	12:00	30.06.1999	17:00	1.713.735	50.141	5	96	AV.COMPRESSOR+EX.VEIOS.
	MC	VAV	1972	28.08.2000	8:00	10.09.2000	17:00	1.791.126	53.285	321	341	AV. COMPRESSOR
Turbocompres.	MC	VAV	1972	29.10.2000	0:00	03.11.2000	17:00	1.798.527	53.603	137	7	SUBST.TURBO + CABEÇA 1R

LOCOMOTIVA 1973

Modo de Avaria	Tipo	TAM	Local	Início	Fim	Kms	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve		
Fuga de Óleo	MC	VAV	1973	09.02.1999	8:00	09.02.1999	9:00	1.500.761	34.911	1	110	FALTA OLEO NO CARTER
	MC	VAV	1973	26.01.2000	11:00	27.01.2000	11:00	1.562.200	37.378	24	143	FUGA DE OLEO
	MC	VAV	1973	29.02.2000	0:00	29.02.2000	12:00	1.571.140	37.695	12	6	BAIXA PRESSAO OLEO
	MC	VAV	1973	12.08.2002	14:00	12.08.2002	17:00	1.695.418	42.936	3	143	DETECTAR FUGAS D'ÁGUA E ÓLEO
	MC	VAV	1973	14.05.2003	17:00	15.05.2003	16:00	1.740.774	44.864	23	241	ACTUAÇÃO BAIXA PRESSÃO DO ÓLEO
	MC	VAV	1973	27.08.2003	23:30	29.08.2003	8:00	1.761.425	45.728	33	80	BAIXA PRESSÃO DE OLEO
	MC	VAV	1973	18.10.2003	16:00	04.11.2003	16:00	1.771.745	46.116	408	21	CONSUMO EXCESSIVO DE ÓLEO
Fuga de Gasóleo	MC	VAV	1973	26.07.2000	8:00	26.07.2000	10:00	1.597.683	38.805	2	185	FALTA DE GASOLEO
	MC	VAV	1973	19.03.2002	10:00	20.03.2002	8:00	1.668.238	41.825	22	137	TUBOS ALTA PRESSÃO GASÓLEO PART.
	MP	V5	1973	06.03.2003	8:00	06.03.2003	16:30	1.726.599	44.317	9	183	FUGA DE GASÓLEO
Fuga de Água	MP	V5	1973	04.08.2002	8:00	05.08.2002	16:00	1.693.834	42.885	32	208	FUGA D'ÁGUA NA CABEÇA DO MOTOR
	MC	VAV	1973	12.08.2002	14:00	12.08.2002	17:00	1.695.418	42.936	3	143	DETECTAR FUGAS D'ÁGUA E ÓLEO
RCF	MC	VAV	1973	11.10.2000	8:00	18.10.2000	19:00	1.605.965	39.155	179	39	SUBST. RCF
Cabeça do Cilindro	MP	V5	1973	26.09.2000	0:00	26.09.2000	16:00	1.603.028	39.018	16	199	SUBST.CABEÇA 2L
	MC	VAV	1973	17.05.2002	8:00	20.05.2002	19:00	1.678.775	42.254	83	166	SUBST.CABEÇA 2L DO MOTOR DIESEL
	MP	V4	1973	13.06.2003	8:00	17.06.2003	17:00	1.746.853	45.151	105	173	SUBSTITUIÇÃO DAS CABEÇAS N.º 1,2,5
Turbocompres.	MC	VAV	1973	28.12.2001	16:00	07.01.2002	19:00	1.656.746	41.296	243	120	FALTA DE POTÊNCIA

Anexo III – Percentagem em que ocorre cada modo de avaria

Anexo IV – Exemplo da organização de dados por modo de avaria**Equipamento - Compressor**

Local	Ínicio	Fim	Hrs	Tempo Imob.	Tempo Disp.	Texto Breve		
1970	09.06.1999	18:00	11.06.1999	12:00	12.784	42	168	FALTA DE POTENCIA
1972	30.06.1999	12:00	30.06.1999	17:00	14.472	5	96	AV.COMPRESSOR+EX.V EIOS.
1968	15.07.1999	8:00	15.07.1999	10:00	15.678	2	63	COMPRESSOR NAO PARA
1966	17.02.2000	16:00	27.02.2000	2:00	32.723	226	0	SUB.COMPRES.PRINCIPAL
1971	05.06.2000	8:00	05.06.2000	16:00	41.406	8	135	AV REG. DO COMPRESSOR
1971	07.06.2000	15:00	27.06.2000	18:00	41.567	483	0	RUIDO ANORMAL COMPRES.
1972	28.08.2000	8:00	10.09.2000	17:00	48.079	321	341	AV. COMPRESSOR
1967	18.07.2002	10:00	18.07.2002	16:00	102.751	6	90	AV. NO COMPRESSOR
1970	20.07.2002	0:00	20.07.2002	1:30	102.912	2	55	REGULADOR DO COMPRESSOR
1971	26.09.2002	1:00	26.09.2002	3:00	108.218	2	104	REGULADOR DO COMPRESSOR ISOLADO
1963	11.10.2002	6:00	19.10.2002	17:00	109.424	203	46	AVARIA NO COMPR. +CAIXA SIFA + GAV
1967	19.12.2002	8:00	26.12.2002	17:00	114.892	177	97	AG. COMPRESSOR
1969	30.03.2003	15:00	04.04.2003	19:00	123.012	124	22	AVARIA DO COMPRESSOR
					Total= 867.918			

Anexo V – Exemplo da aplicação do teste de Laplace em folha de cálculo

Equipamento – Compressor

Tempo de funcionamento			
12 loc.	144720	H0: $\lambda(t) = K$ H1: $\lambda(t) \neq K$	
To=	144720		
Int. de			
Confiança=	95%		
$\alpha = 5\%$, mas como o teste é bilateral $\alpha/2 = 2,5\%$, logo A probabilidade é=		0,025	
Média=	0		
Desvio Padrão=	1		
Z=	-1,960	$-1,96 < Z < 1,96$	
Avarias(i)	Tempo(Ti)/Maq.	Nº Máquinas	Tempo Total (Ti)
1	12.784	1	12784
2	14.472	1	14472
3	15.678	1	15678
4	32.723	1	32723
5	41.406	1	41406
6	41.567	1	41567
7	48.079	1	48079
8	102.751	1	102751
9	102.912	1	102912
10	108.218	1	108218
11	109.424	1	109424
12	114.892	1	114892
N= 13	123.012	1	123012
		Sum	867918
ET=	-0,483		

Anexo VI – Exemplo de carregamento de dados no software Weibull++ Version 6

Equipamento – Compressor

ReliaSoft Weibull++ Version 6 - [Folho 1:C:\João Paulo\Mestrado\joaopauloWeibull6\Files\compressor.rw6]

File Edit View Folio Data Format Tools Window Help

B15

D-I	Time Failed	Subset ID
1	12784	
2	14472	
3	15678	
4	32723	
5	41406	
6	41567	
7	48079	
8	102751	
9	102912	
10	108218	
11	109424	
12	114892	
13	123012	
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		

Main Set Analysis Other

Weibull Normal

Lognormal Exponential

More >>>

Parameters/Type

1 2 3

Mixed Comp. FM

Beta 1.4077

Eta 7.3765E+4

Rho 0.9508

Lk Value -155.8992

RRX SRM

FM MED

CHKD

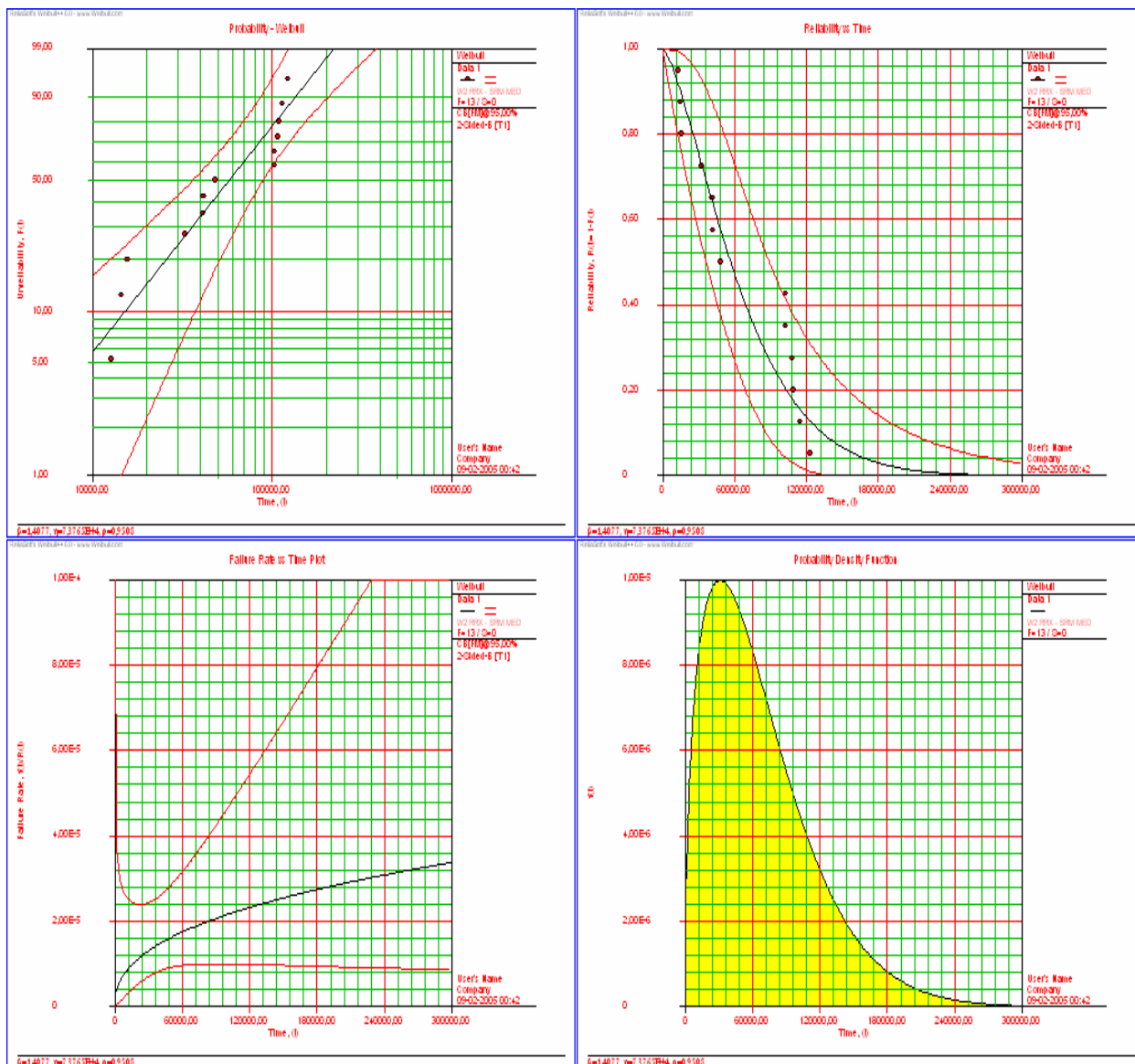
F=13/S=0

Data Entry Spreadsheet 09-02-2005 0.25

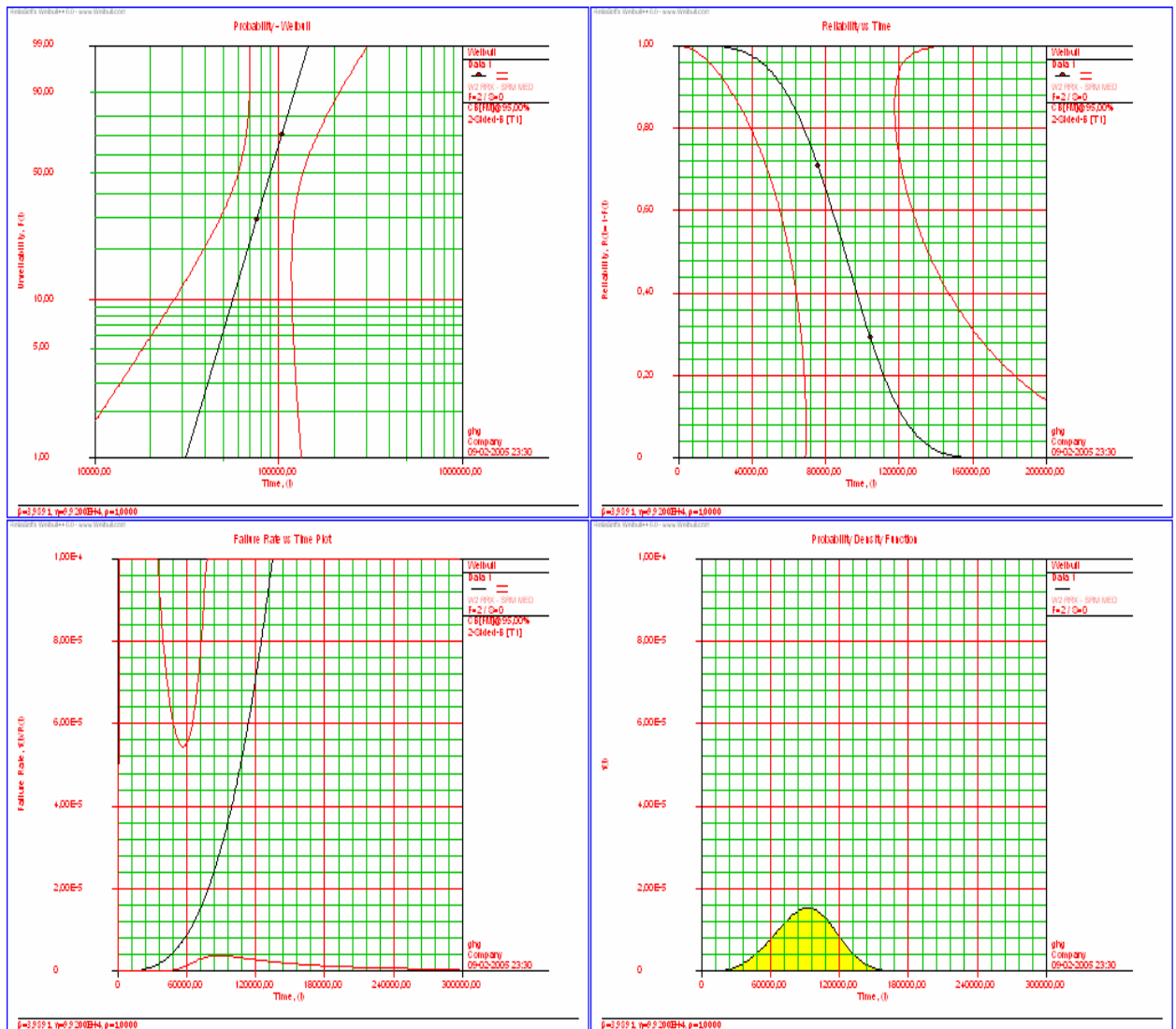
Windows Taskbar: Iniciar, Anexos, Microsoft Word, Yahoo! Mail - jalb..., Windows Media Pl..., ReliaSoft Weibull..., PT 0:25

Anexo VII - Gráficos de Probabilidade de Falhas $F(t)$, Fiabilidade $R(t)$, Taxa de avarias $\lambda(t)$ e Função densidade de probabilidade $f(t)$ para cada equipamento estudado

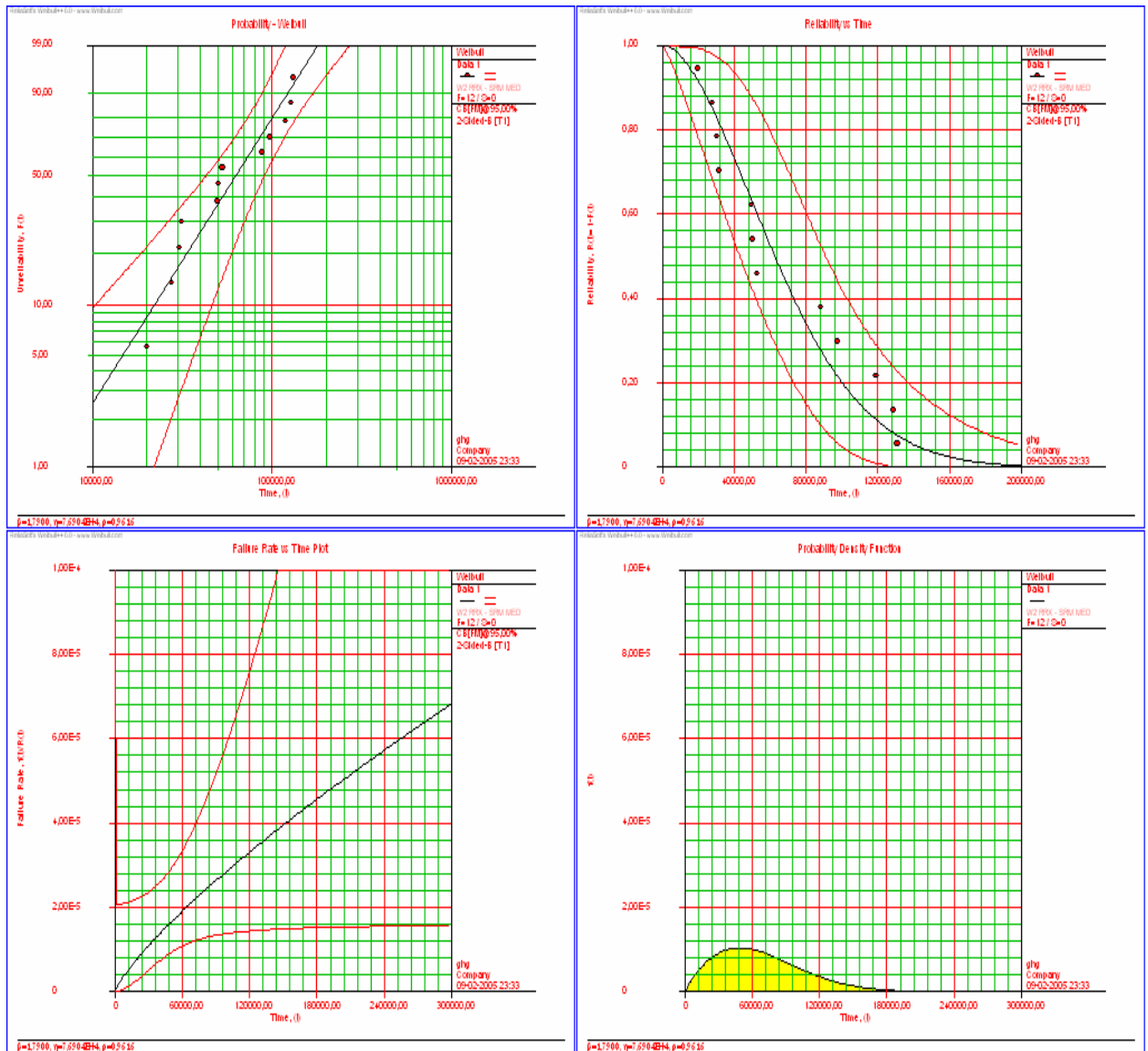
Compressor



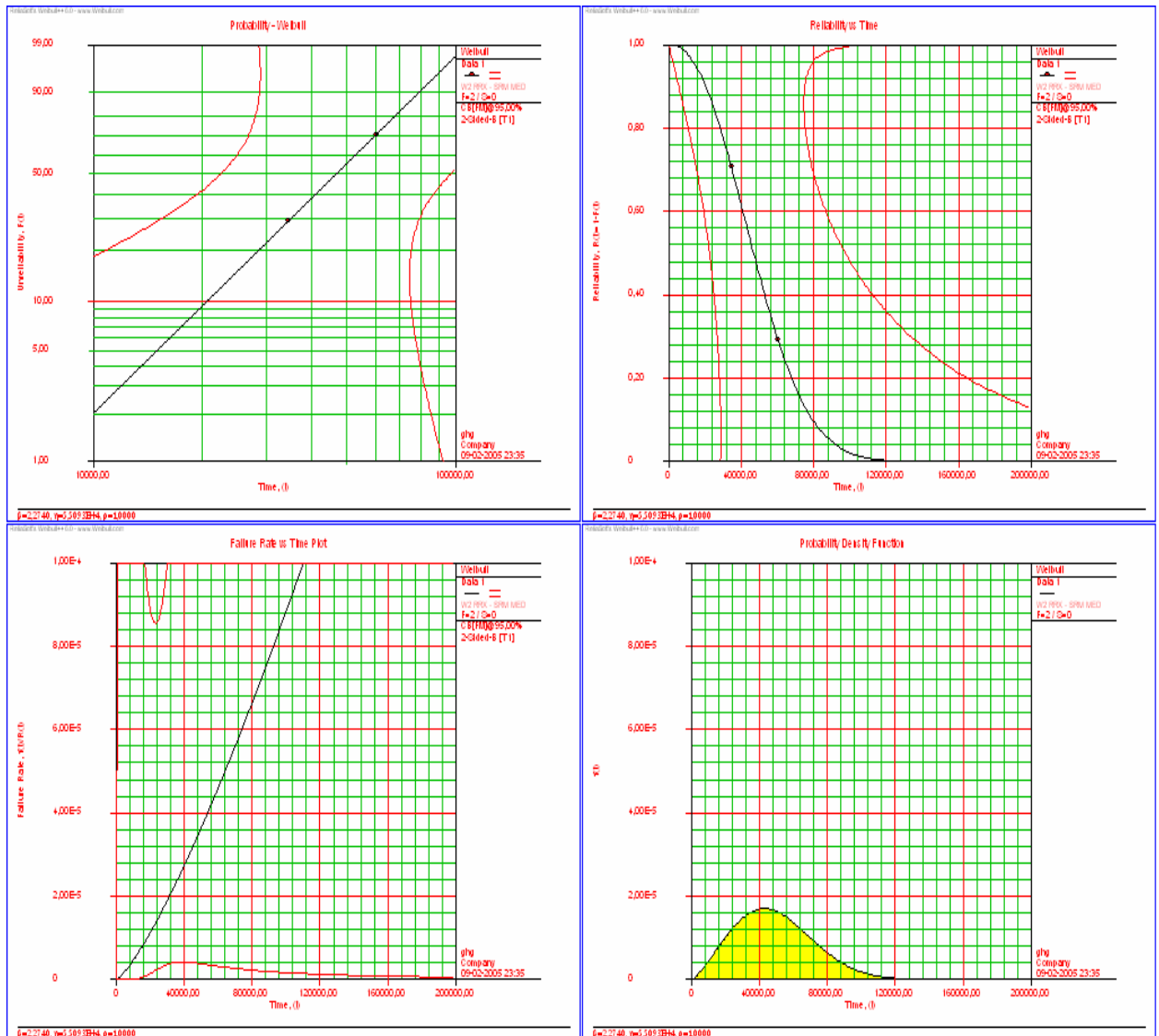
Painel Rectificador



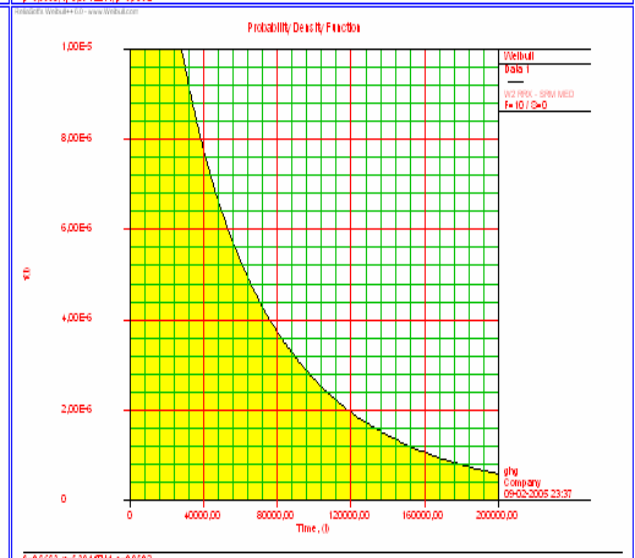
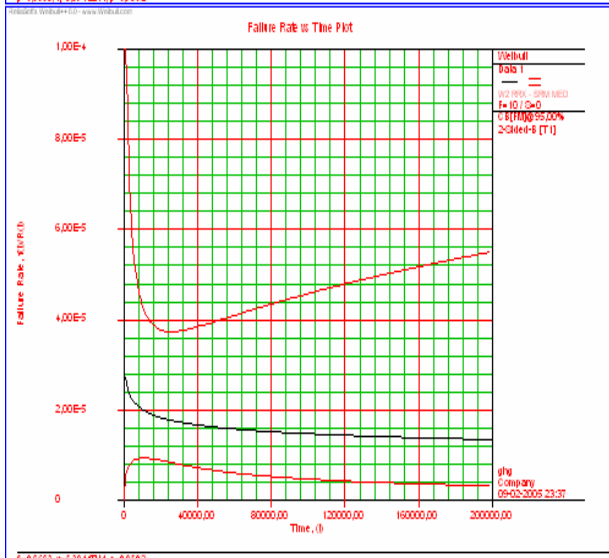
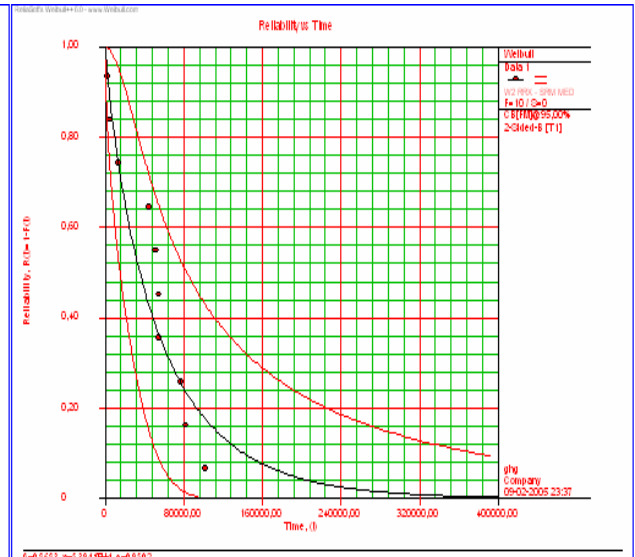
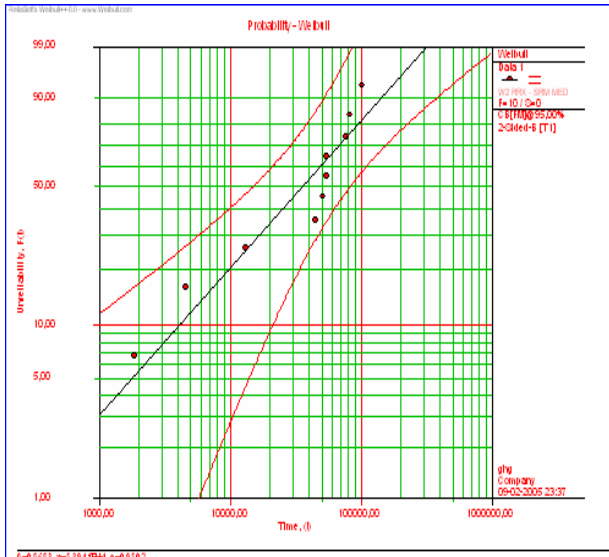
Cabeça dos Cilindros



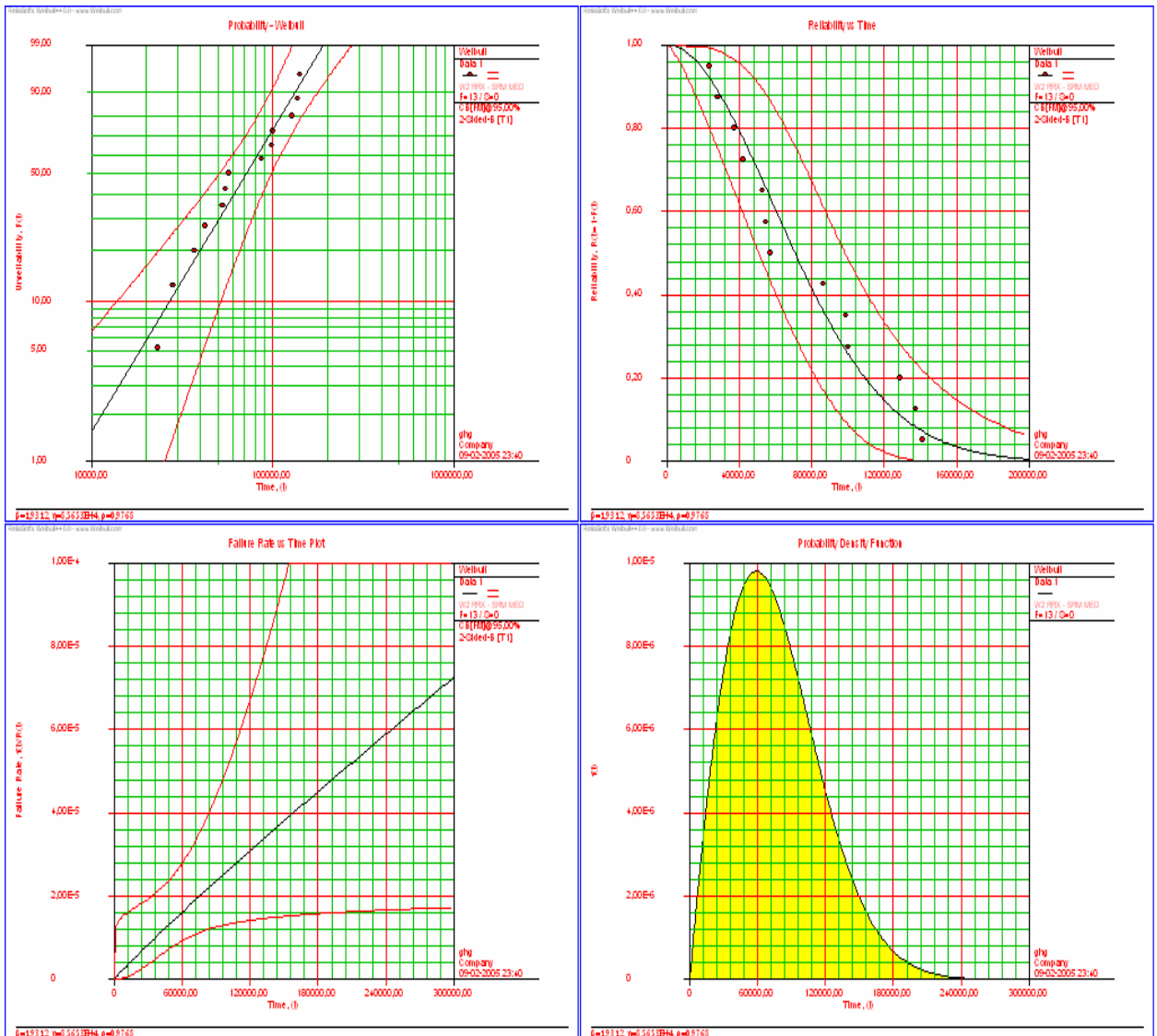
Bomba de óleo



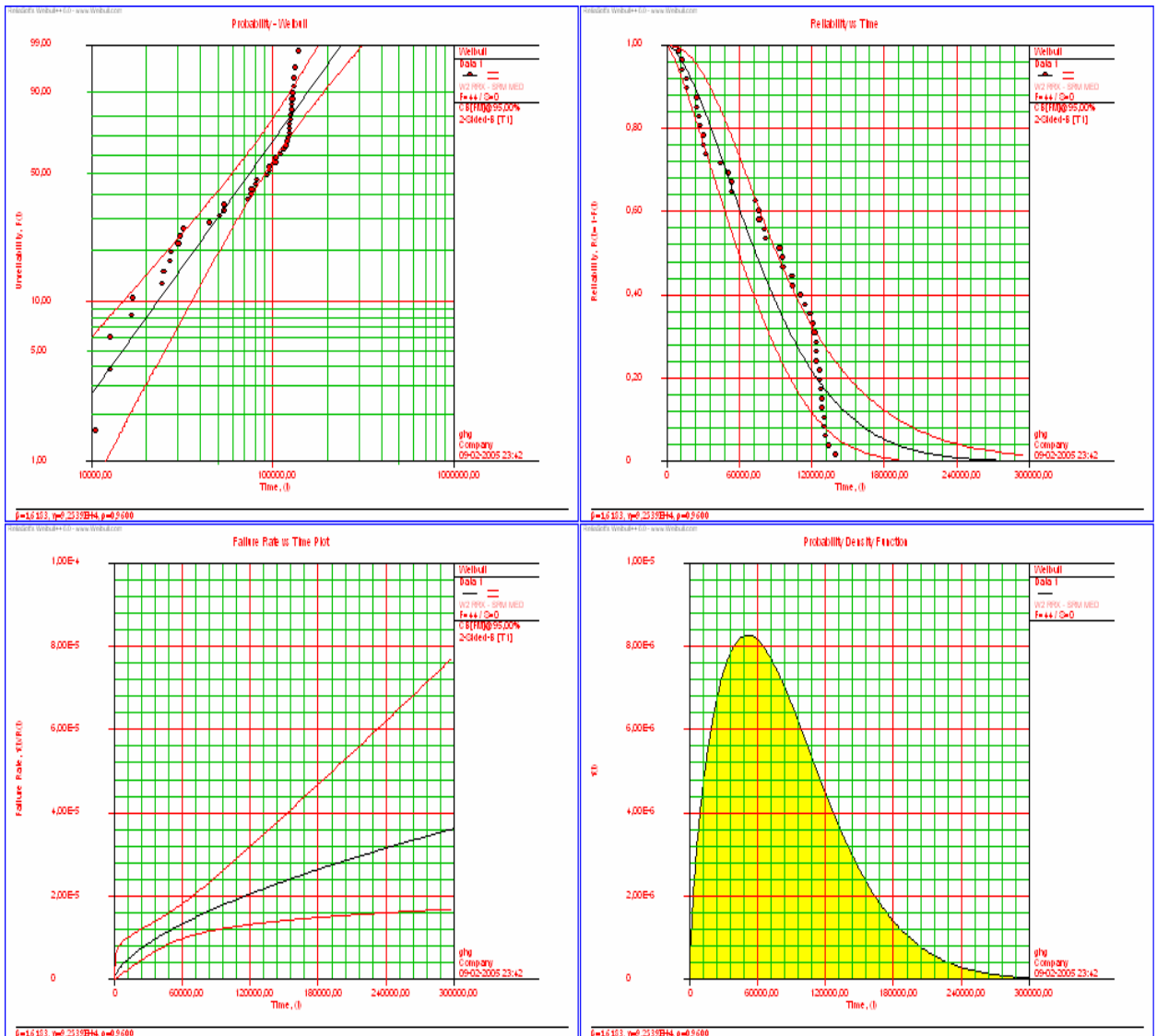
RCF – Regulador Central de Forças



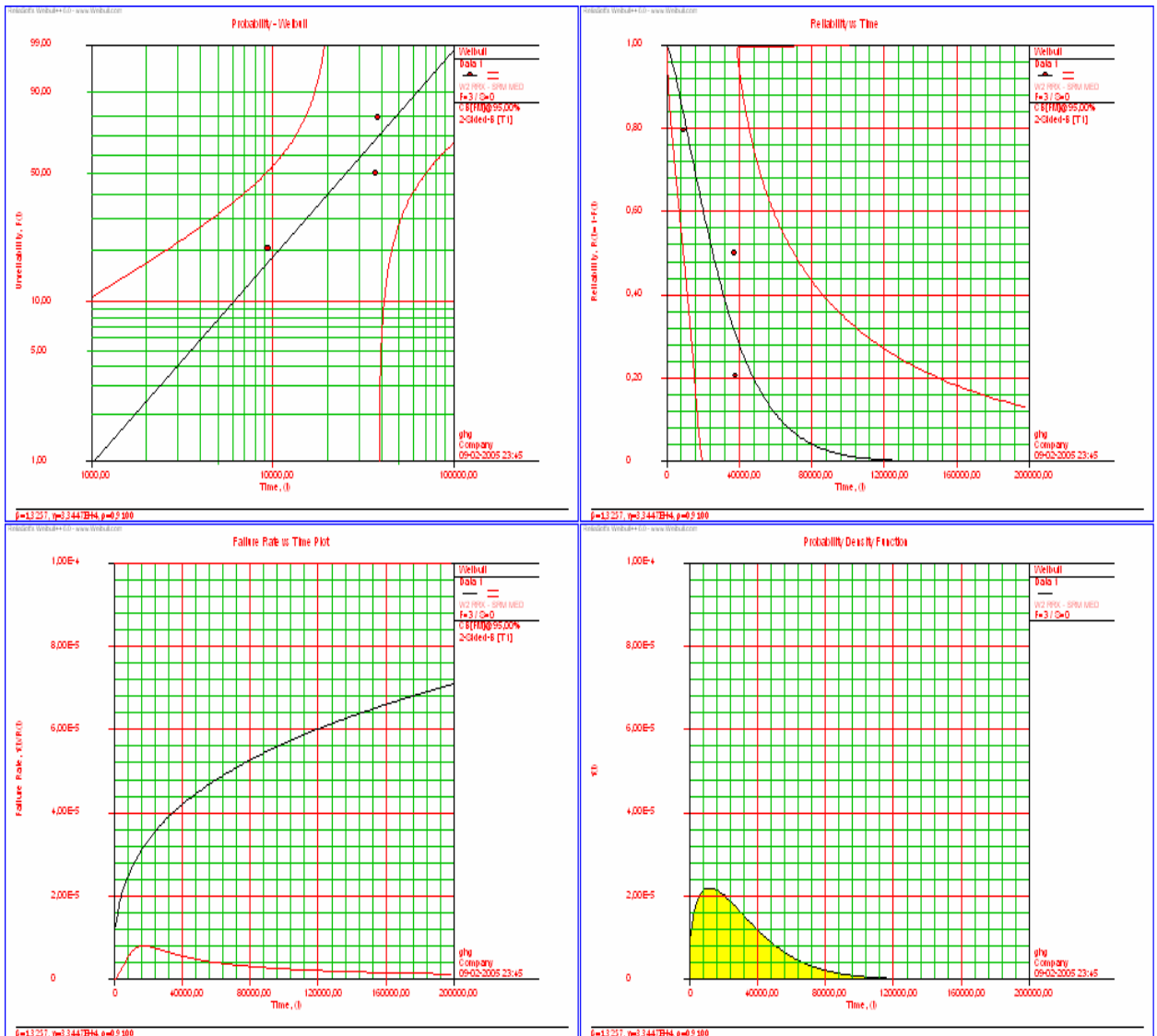
Turbocompressor



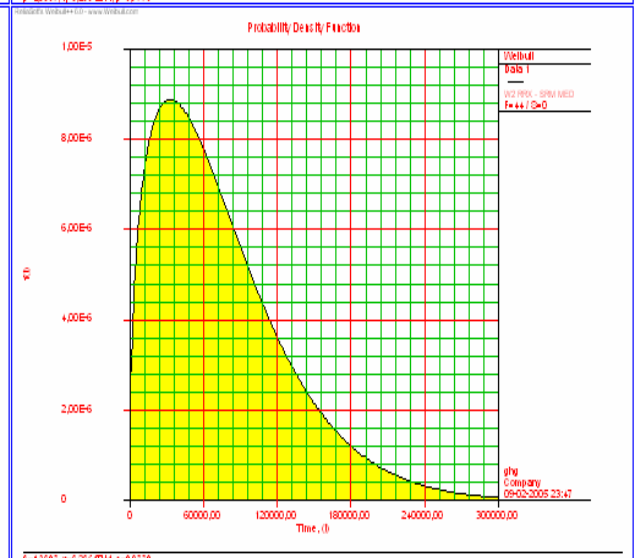
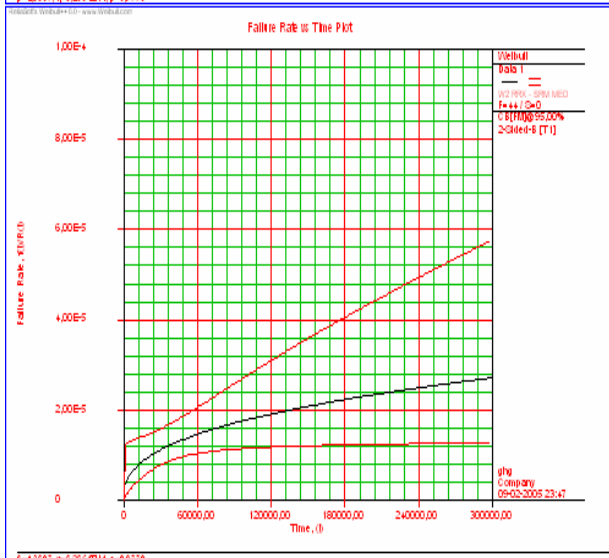
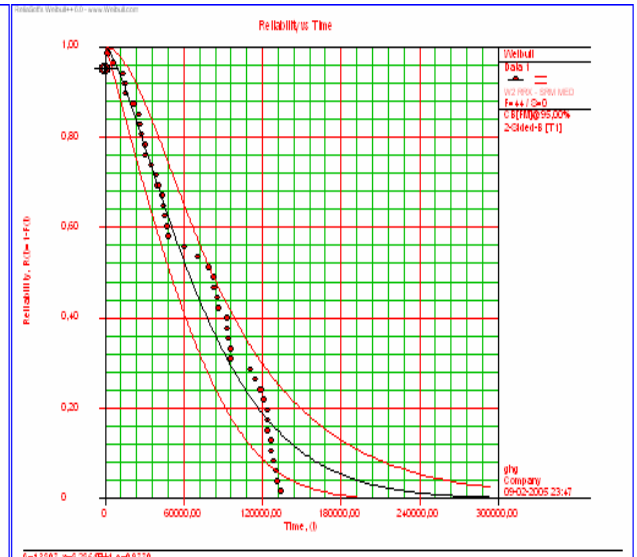
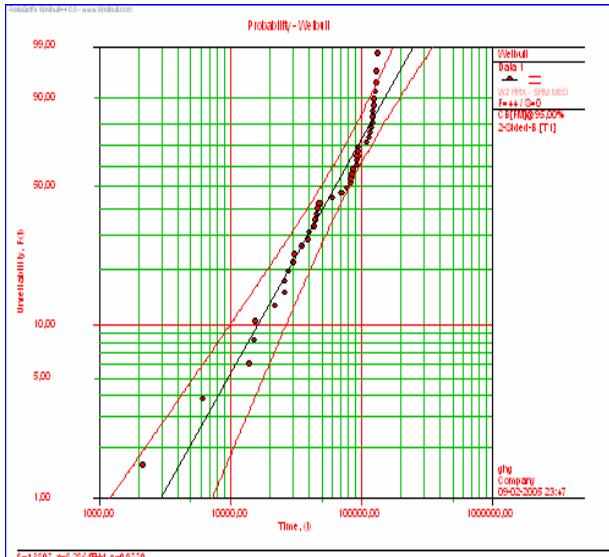
Circuito de refrigeração (excluindo radiadores)



Transmissão da ventoinha de refrigeração dos radiadores



Circuito de gasóleo



Anexo VIII - Classificações e índices de severidade do efeito, frequência de ocorrência e dificuldade de detecção dos modos de avaria

• **Classificação da severidade**

Efeito	Critério – Severidade do efeito	Índice
Muito perigoso	A ocorrência da avaria põe em causa: <ul style="list-style-type: none"> • A segurança do tripulante e passageiros; • A integridade do meio de transporte; • As normas ambientais. 	5
Perigoso	A ocorrência da avaria põe em causa: <ul style="list-style-type: none"> • A integridade do meio de transporte; • A integridade do motor e dos seus órgãos descendentes; • A retoma do serviço. 	4
Elevadas consequências comerciais e materiais	A ocorrência da avaria põe em causa: <ul style="list-style-type: none"> • A retoma do serviço; • A integridade do motor e dos seus órgãos descendentes; 	3
Moderadas consequências comerciais e elevadas consequências materiais	A ocorrência da avaria põe em causa: <ul style="list-style-type: none"> • A retoma imediata do serviço; • A reparação do motor sem desmontagem do chassis. 	2
Moderadas consequências comerciais e materiais	A ocorrência da avaria não põe em causa: <ul style="list-style-type: none"> • A retoma imediata do serviço; • A integridade do motor e dos seus órgãos descendentes. 	1

- **Classificação da frequência**

Probabilidade de ocorrência	Critério – Frequência da ocorrência	Índice
Muito alta	Frequência superior a 50%	5
Alta	Frequência superior a 25% e inferior a 50%	4
Moderada	Frequência superior a 10% e inferior a 25%	3
Baixa	Frequência superior a 2% e inferior a 10%	2
Muito baixa	Frequência situada entre 0 e 2%	1

- **Classificação de detectabilidade**

Probabilidade de detecção	Critério – Probabilidade de detecção	Índice
Nula	A avaria ocorre subitamente e não existem dispositivos de detecção.	5
Remota	A avaria ocorre subitamente e existem dispositivos de detecção, embora insuficientes.	4
Baixa	A avaria ocorre subitamente e existem bons dispositivos de detecção.	3
Moderada	A avaria não ocorre subitamente e não existem dispositivos de detecção.	2
Elevada	A avaria não ocorre subitamente e existem dispositivos de detecção.	1

ANEXO IX - FME(C)A realizado para o equipamento turbocompressor

Nome do processo: Rep./Man. Turbocompressor Alco 165 Envolvimento de outras áreas: Manutenção Norte Datas-chave Produção: Reparação de turbocompressores

Nº de série: _____ Envolvimento do fornecedor: _____ Elaborado por: João Albuquerque

Responsável concepção: ALCO Modelo/ Produto: Turbocompressor Alco 165 Data FMECA: 10/10/2004

Responsável FMECA: Grupo Oficial do Barreiro Data de lançamento do Produto: 1979 Data revisão FMECA: 02/01/2006

Função do processo	Modo de falha potencial	Potencial consequência(s) de falha	S E V	Potencial causa(s) de falha	F R E	Método de detecção	D E T	Is	Acção Correctiva recomendada	Área/ Pessoa responsável e data de conclusão	Resultados obtidos				
											Acção realizada	S E V	F R E	D E T	I s
Comprimir ar exterior	Fragmentação da roda compressora	- Danos no turbo	5	Fadiga	1	Não existe		25	Técnicas MPC na verificação das rodas compressoras no ciclo de reparação.						
		- Danos nos órgãos adjacentes	3	mecânica											15
		- Riscos humanos	5												25
Conversão de energia térmica em energia mecânica	Entrada de corpo estranho	Gripagem de turbina, veio e roda compressora	4	Fractura de válvulas do motor Diesel	2	Verificação de falhas superficiais nas válvulas, na reparação de cabeça de cilindro do MD	4	32	Criar rotina de verificação da integridade estrutural das válvulas através de ultra-sons (técnica MPC).						
Refrigeração do turbocompressor	Fissura da caixa de refrigeração	- Sobreaquecimento do turbocompressor e ineficiente combustão do MD	3	Fadiga das caixas de refrigeração	3	Visual, nas visitas de manutenção		2	18	Técnicas MPC na verificação das caixas de refrigeração no ciclo de reparação.					
		- Gripagem dos apoios do rotor	4		2										16

