

V.P.



Vanda
Piedade

**Manutenção Centrada
na Fiabilidade**

Manutenção de Equipamentos

MANUTENÇÃO CENTRADA NA FIABILIDADE

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção realizada sob a orientação científica de Dr. Professor Filipe Didelet

Dissertação de Mestrado em
Engenharia de Produção

IPS

Data: Novembro de 2012

*A minha família que sempre me apoiou
e acreditou em mim.*

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à minha família que sempre me apoiou e deu força para continuar.

Aos meus amigos e colegas que não me deixaram desistir, em especial aos meus colegas Manuel Santos e Orlando Aires que me acompanharam durante este trajeto, e que sem eles não seria possível atingir esta meta em tão curto espaço de tempo.

Realço o importante contributo do Sr. Professor Doutor António Ramos Pires e Sr. Professor Doutor Ricardo Cláudio pelo apoio demonstrado para realização deste trabalho.

Por fim manifesto o meu profundo agradecimento ao Sr. Professor Doutor Filipe Didelet pela colaboração, apoio, incentivo e orientação para elaboração do presente trabalho.

Resumo

Com a globalização dos mercados, as empresas necessitam de buscar a excelência dos seus serviços e produtos. Uma das maneiras de rentabilizar as atividades nas empresas é a Manutenção, pois é a através desta que é possível melhorar as condições de funcionamento dos equipamentos, e por conseguinte acrescentar valor aos seus serviços e produtos. A Manutenção por si só não é suficiente, pois é necessário determinar quais as ações indicadas para cada componente. Neste contexto uma das estratégias a utilizar é a Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM), pois o processo de desenvolvimento do RCM envolve a identificação de ações que quando executadas irão reduzir a probabilidade de falha num determinado equipamento, bem como os seus custos de manutenção. Estas estratégias devem ser aplicadas de forma integrada, ou seja acompanhadas desde a fase de projeto, de maneira a possibilitar a otimização da eficiência e dos custos de manutenção do sistema avaliado. No entanto para que esta técnica seja desenvolvida são necessários conhecimentos relativos à Fiabilidade, Manutibilidade e Disponibilidade. É sobre todos estas estratégias que iremos desenvolver este trabalho.

Palavras-chave: Disponibilidade, Eficiência, Fiabilidade, Manutenção, Manutenção Centrada na Fiabilidade, Manutibilidade.

Abstract

With the globalization of markets, companies need to seek the excellence of its services and products. One of the ways to monetize the company's activities in the Maintenance, for it is through this that we can improve the operating conditions of the equipment, and therefore adds value to their products and services. Maintenance alone is not enough, it is necessary to determine what actions specified for each component. In this context one of the strategies is to use the Reliability Centered Maintenance (RCM), since the process of development of RCM involves identifying actions that when implemented will reduce the probability of failure in given equipment and their maintenance costs. These strategies should be implemented in an integrated manner that is followed from the design phase, in order to enable the optimization of efficiency and maintenance costs of the system evaluated. However, for this technique to be developed knowledge is needed regarding the Reliability, Maintainability and Availability. It's about all these strategies that we will develop this work.

Keywords: Availability, Efficiency, Reliability, Maintenance, Reliability-Centered Maintenance, Maintainability

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice	v
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Siglas e Acrónimos	x
Capítulo 1	1
1.1. Introdução.....	1
Capítulo 2	2
2.1. Enquadramento da Manutenção.....	2
2.2. Manutenção e seus objetivos	2
2.3. Estratégia da Manutenção.....	3
2.3.1. Tipos de Manutenção.....	6
2.3.2. Manutenção Produtiva Total (Total Productive Maintenance -TPM)	10
2.4. Organização da Manutenção	14
2.5. Criticidade do equipamento.....	16
2.5.1. Processo de decisão da reparação.....	16
2.6. Custos agregados a Manutenção.....	18
2.7. Eficiência em Manutenção	19
Capítulo 3	21
3.1. Enquadramento da Fiabilidade.....	21
3.2. Fiabilidade e seus objetivos	21
3.2.1. Requisitos da Fiabilidade	22
3.3. Função Fiabilidade.....	22
3.3.1. Taxa Instantânea de falhas	24
Capítulo 4	28
4.1. Enquadramento do Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM).....	28

4.2. RCM e Objetivos	28
4.2.1. <i>Questões de resposta do RCM</i>	28
4.2.2. <i>Princípios RCM.....</i>	30
4.2.3. <i>Procedimento RCM</i>	31
4.2.4. <i>Benefícios do RCM.....</i>	34
Capítulo 5	35
5.1. Caso Prático: Manutenção de um equipamento	35
5.1.1. <i>Tipo e Classificação de Compressores</i>	35
5.1.2. <i>Características dos compressores rotativos.....</i>	37
5.1.3. <i>Compressores de lóbulos</i>	38
5.2. Análise inicial para reparação de um compressor	38
5.3. Estudo da fiabilidade e disponibilidade do equipamento.....	40
5.3.1. <i>Cálculo da disponibilidade do equipamento</i>	41
5.3.2. <i>Estudo da Função Distribuição Weibull.....</i>	42
5.3.3. <i>Cálculo de fiabilidade envolvendo a disponibilidade</i>	43
5.4. Reparação efectuada	46
Capítulo 6	47
Conclusões	47
Bibliografia	48
Anexo I.....	6.A
Frequência de Rotinas	6.A
Anexo II.....	6.B
OT - Rotina de Lubrificação.....	6.B
Anexo III.....	6.C
OT - Rotina Semestral compressor	6.C
Anexo IV	6.D
Rosto de uma Notificação (NOT)	6.D
Anexo V	6.E
Rosto de OT	6.E
Anexo VI	6.F

Fase para execução	6.F
Anexo VII	6.H
Veio mandado	6.H
Anexo VIII	6.J
Veio mandate	6.J
Anexo IX	6.L
Corpo - Estator	6.L
Anexo X	6.P
Tampa	6.P

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Estratégia da Empresa, da Produção e da Manutenção	3
Figura 2.2 – Procedimentos de Manutenção	4
Figura 2.3 – Fatores internos e externos que influenciam a estratégia da manutenção	5
Figura 2.4 – Tipos de Manutenção.....	6
Figura 2.5 – Manutenção Preventiva Sistemática.....	7
Figura 2.6 – Manutenção Preventiva Condicionada	8
Figura 2.7 – Organigrama de Manutenção	14
Figura 2.8 – Fluxograma de preparação de reparação.....	17
Figura 2.9 – Iceberg de custos.....	19
Figura 2.10 – Eficiência em Manutenção	19
Figura 3.1 – Função Fiabilidade vs Infiabilidade	24
Figura 3.2 – Curva da banheira.....	25
Figura 3.3 – MTTR e MTBF.....	26
Figura 3.4 – Relação entre fiabilidade, manutibilidade e disponibilidade	27
Figura 4.1 – Passos base no processo RCM.....	32
Figura 5.1 – Classificação de Compressores.....	35
Figura 5.2 – Compressor de palhetas	36
Figura 5.3 – Compressor de lóbulos	37
Figura 5.4 – Representação gráfica da função weibull	44
Figura 5.5 – Representação gráfica da função weibull ajustada	45

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Princípios RCM	30
Tabela 5.1 – Inspeção dos componentes	39
Tabela 5.2 – Inspeção ao corpo	39
Tabela 5.3 – Tempos de Reparação [h].....	40
Tabela 5.4 – Valor para cálculo da disponibilidade	41
Tabela 5.5 – Valores de referência [h]	43
Tabela 5.6 – Estatística de Regressão	44
Tabela 5.7 – Resultado Residual	45
Tabela 5.8 – Valor dos parâmetros.....	46

Lista de Siglas e Acrónimos

FMEA	Análise Modal de Falhas e efeitos
AUX	Auxiliares
CE	Caderno de Encargos
CORR	Corretiva
DINA	Dinâmica
OEE	Eficiência Global do Equipamento
ELE	Eletricidade
INS	Instrumentação
INVE	Investimentos
RCM	Manutenção Centrada na Fiabilidade
TPM	Manutenção Total Produtiva
AJU	Mecânica
TIN	Mecânica de instrumentos
MODIF	Modificações
NOT	Notificação
OT	Ordem de Trabalho
PERM	Permanente
PROG	Programada
MWT	Tempo médio de espera
MTBF	Tempo médio entre avarias
MTTR	Tempo médio para reparar

Lista de Símbolos

$R(t)$	Função Fiabilidade
$F(t)$	Função de probabilidade acumulada de avarias (Probabilidade de falha)
$f(t)$	Função densidade de probabilidade de falha
T_i	Duração média das tarefas de manutenção do equipamento
t	Tempo até a falha

$\lambda(t)$	Taxa de avaria
λ_i	Taxa de avaria do componente
α	Parâmetro de escala
β	Parâmetro de forma

Capítulo 1

1.1. Introdução

Ao longo dos anos, a manutenção tem passado por muitas mudanças organizacionais, devido à globalização dos mercados os projetos são cada vez mais arrojados, sendo por isso necessário desenvolver novas tecnologias e estratégias. Neste contexto é de suma importância a disponibilidade do equipamento.

Uma das estratégias utilizadas para acrescentar valor ao serviço ou produto é a Manutenção Centrada na Fiabilidade que tem como função identificar a funcionalidade ou desempenho requerido pelo equipamento em funcionamento, os modos de falha e as causas prováveis de avaria para então analisar os efeitos e consequências da falha e por conseguinte melhorar o mesmo. Desta maneira é possível avaliar a criticidade das falhas e identificar consequências significativas que afetam a segurança, a disponibilidade ou custo.

Estas estratégias devem ser aplicadas de forma integrada, ou seja acompanhadas desde a fase de projeto, de maneira a possibilitar a otimização da eficiência e dos custos de manutenção do sistema avaliado. No entanto para que esta técnica seja desenvolvida são necessários conhecer conceitos relativos à Fiabilidade, Manutibilidade e Disponibilidade.

No Capítulo 2 apresentamos o conceito de Manutenção, tipos de manutenção e as estratégias adotadas para funcionamento da função, assim como os custos agregados.

No Capítulo 3 iremos falar sobre a função Fiabilidade, assim como a relação entre Manutibilidade e disponibilidade dos equipamentos e falhas a ele associados.

No Capítulo 4 definimos a estratégia Manutenção Centrada na Fiabilidade e os seus benefícios.

Será ainda apresentado um caso prático de reparação de um equipamento no Capítulo 5.

No capítulo 6 serão apresentadas as conclusões referentes ao trabalho elaborado.

Capítulo 2

2.1. Enquadramento da Manutenção

No contexto em que se insere a economia global, é necessário grande desenvolvimento económico. O foco deve ser centralizado nas necessidades do cliente. Uma vez que a concorrência é cada vez maior as empresas optam por diferenciar-se na qualidade e na diversificação de produtos. Neste âmbito é necessário garantir a operacionalidade dos equipamentos durante o seu longo ciclo de vida, é por isso necessário efetuar uma série de operações de forma eficaz e económica que o garanta. A este conjunto de ações dá-se o nome de Manutenção, sendo sobre esta função que se irá desenvolver este capítulo.

2.2. Manutenção e seus objetivos

Pinto (1994) define a função da manutenção como “ **um conjunto integrado de atividades que se desenvolve em todo o ciclo de vida de um equipamento, sistema ou instalação e que visa manter ou repor a sua operacionalidade nas melhores condições de qualidade, custo e disponibilidade, com total segurança**”, para Cabral (1998) “**é a combinação das ações de gestão, técnicas e económicas, aplicadas aos bens para otimização dos seus ciclos de vida, entendendo-se por bem o produto concebido para assegurar uma determinada função**”, mas para ambos a manutenção tem como finalidade:

- ◆ Redução de custos;
- ◆ Evitar paragens com perdas de produção;
- ◆ Diminuir os tempos de imobilização;
- ◆ Reduzir os tempos de intervenção através de uma boa preparação de trabalho;
- ◆ Reduzir o número de avarias;
- ◆ Melhorar a qualidade da produção;
- ◆ Aumentar a segurança de serviço;
- ◆ Aumentar o tempo de vida do equipamento;

Na figura 2.1 esta representado as estratégias a seguir pela empresa, assim como pela Produção e Manutenção, pois é muito importante que o objetivo seja comum.

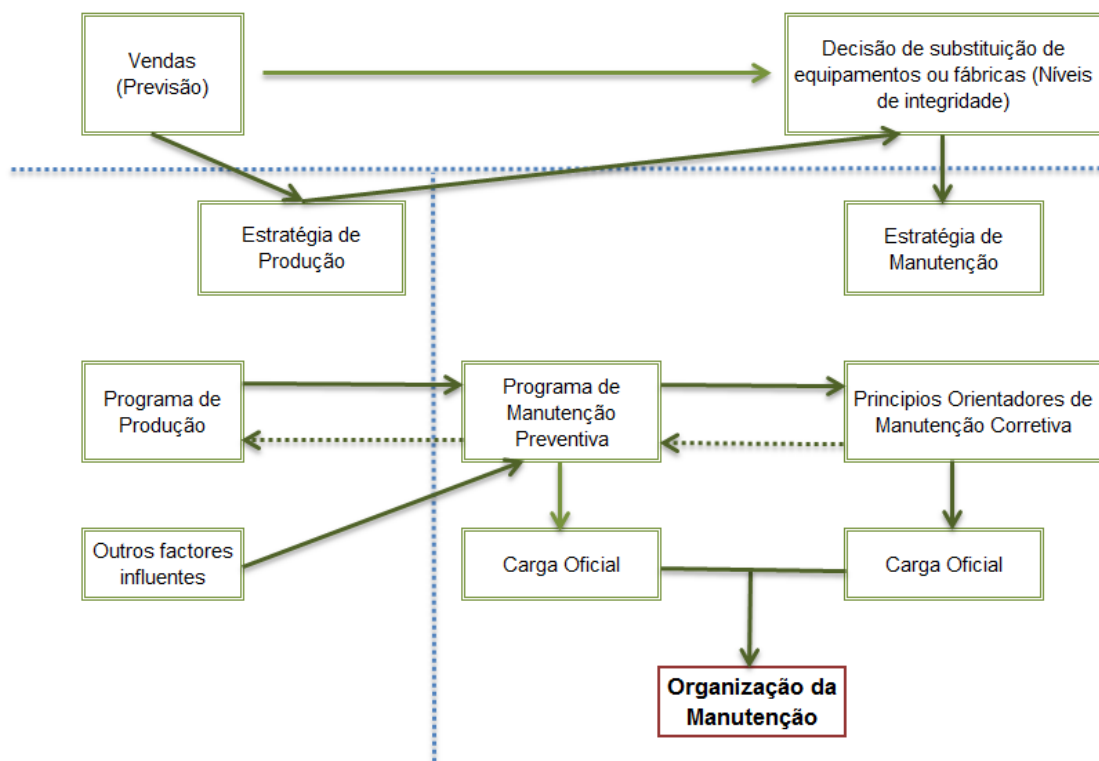


Figura 2.1 – Estratégia da Empresa, da Produção e da Manutenção

2.3. Estratégia da Manutenção

A manutenção tem grande impacto nas empresas a vários níveis, nomeadamente:

- ◆ Rentabilidade
- ◆ Operação
- ◆ Produtos
- ◆ Colaboradores
- ◆ Clientes
- ◆ Resultados

Pois, ao ser dada uma formação adequada aos colaboradores estes sentem-se incluídos no sistema contribuindo para o bom funcionamento da empresa e por conseguinte rentabilizam-no, sendo eles os principais intervenientes na manutenção, estando aptos para efetuar procedimentos, tais como se pode ver na figura 2.2:

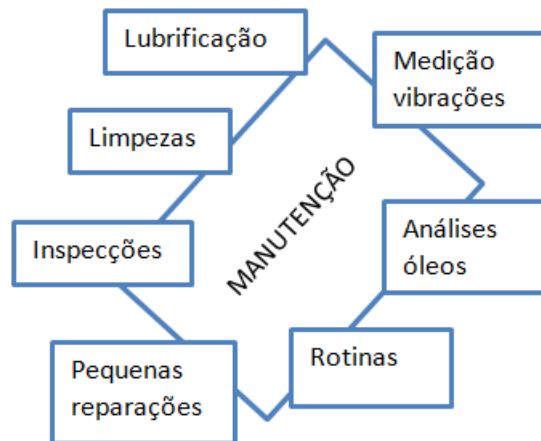


Figura 2.2 – Procedimentos de Manutenção

Para que a estratégia de manutenção seja bem-sucedida deve minimizar custos e perdas de produção, sendo o responsável capaz de optar pela substituição/reparação do equipamento consoante o seu custo, fatores internos e externos que o influenciam. Na figura 2.3 estão mencionados aspetos e política associados a esta.

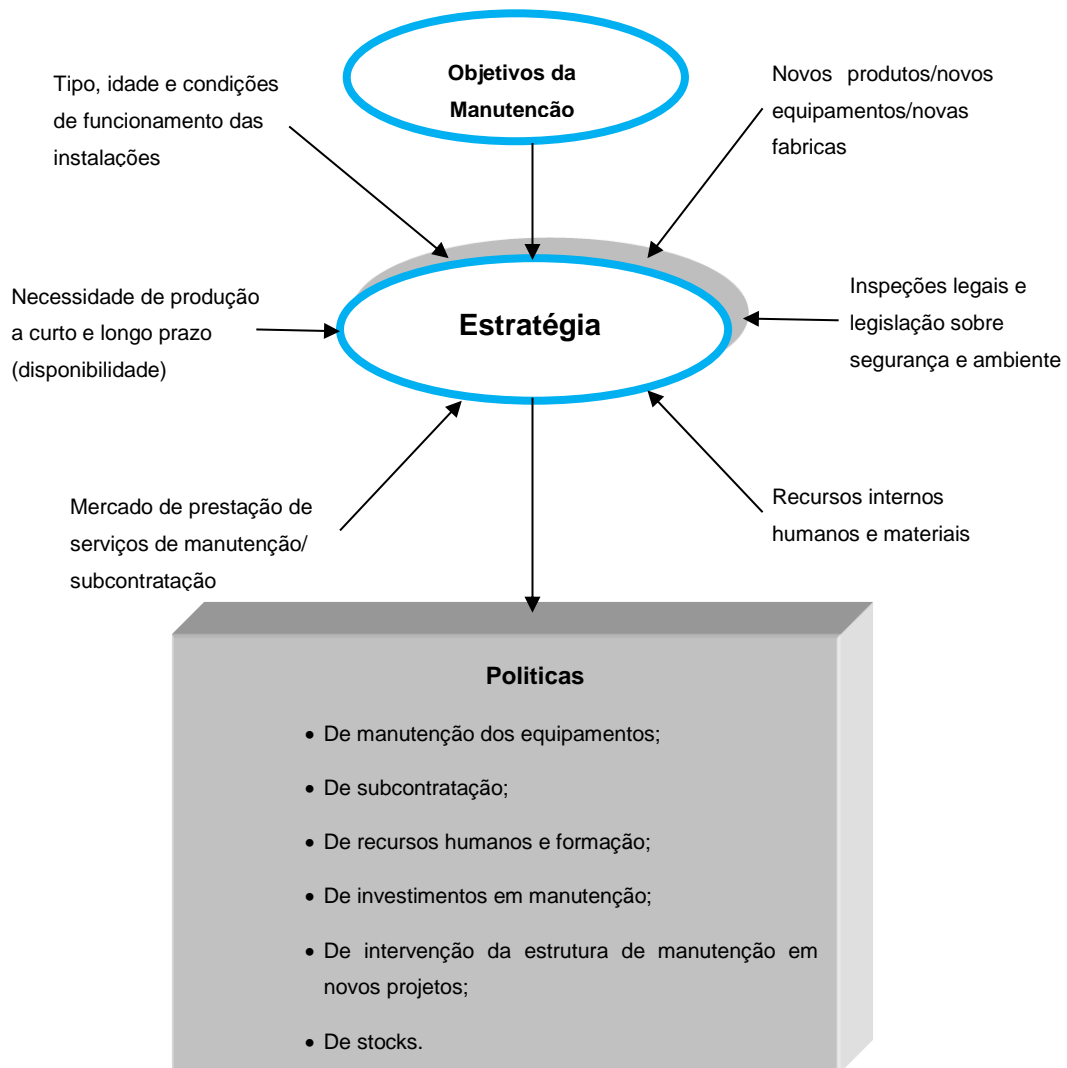


Figura 2.3 – Fatores internos e externos que influenciam a estratégia da manutenção

2.3.1. Tipos de Manutenção

Em termos de manutenção, segundo Didelet et al (2001), esta divide-se em dois tipos, nomeadamente a planeada e a não planeada, que por sua vez se subdividem como podemos verificar na figura abaixo:

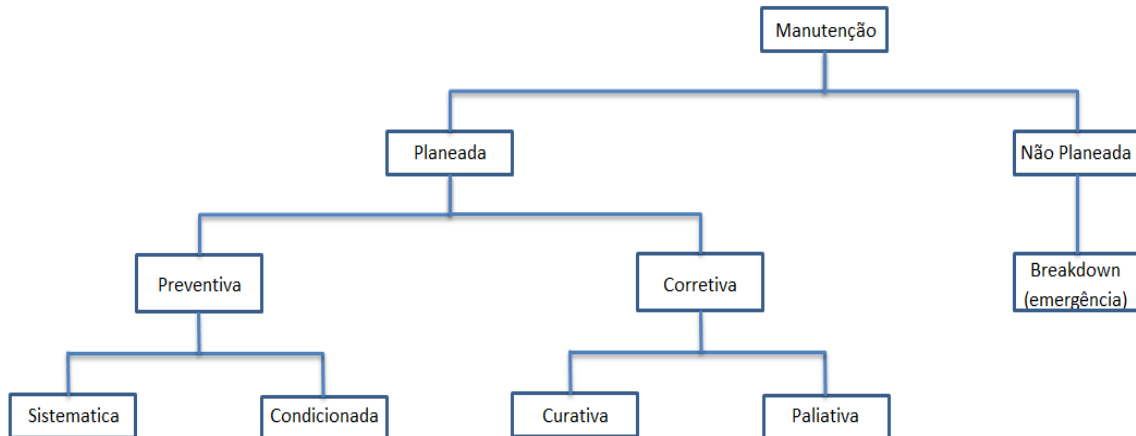


Figura 2.4 – Tipos de Manutenção

Em seguida uma pequena definição dos tipos de manutenção:

✚ **Manutenção Planeada** – Manutenção organizada atempadamente, envolvendo preparação e programação.

- **Manutenção Preventiva** – Efetuada com critérios pré-definidos, com o propósito de reduzir a probabilidade do equipamento entrar em falha. Este tipo de manutenção subdivide-se ainda em:

- **Preventiva Sistemática** – Este tipo de manutenção tem como finalidade manter o funcionamento do equipamento com as características do fabricante, sendo aplicado na maioria a órgãos sensíveis (ex: rolamentos, filtros), módulos de desmontagem, revisões de máquinas e unidades de produção (“shut down”).

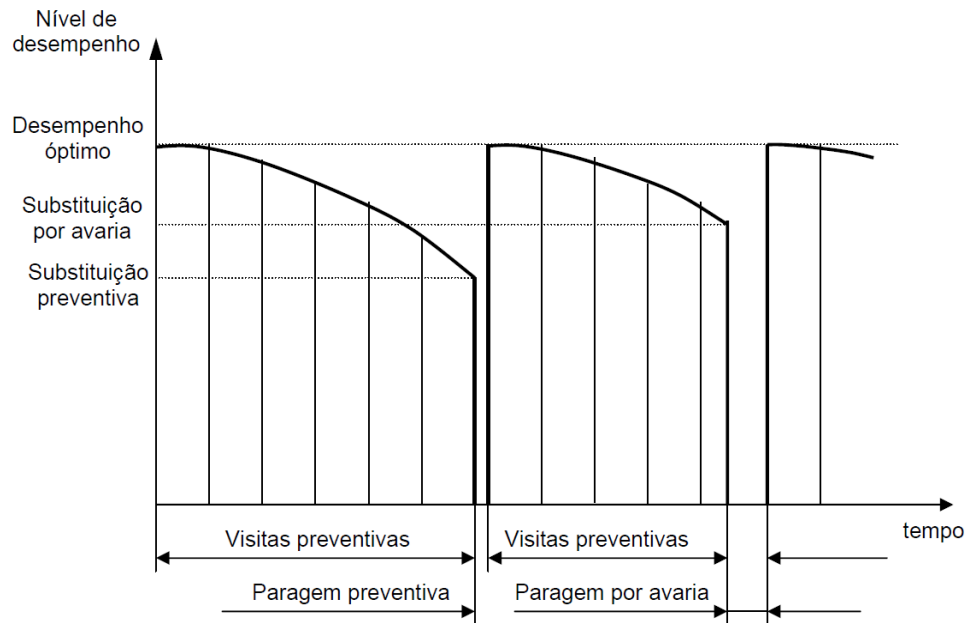


Figura 2.5 – Manutenção Preventiva Sistemática

Para Marcorin e Lima (2003) a evolução da degradação de um componente substituído preventivamente pode ser representada na figura 2.5. Ao termos o primeiro ciclo completo inicia-se um novo ciclo, que será interrompido quando se verificar uma nova avaria do componente substituído. Ao ocorrer nova avaria no mesmo componente, vai implicar que a reparação seja mais demorada.

Normalmente aplicado para:

- Custos da reparação da avaria elevada;
 - A avaria pode implicar paragem da instalação e segurança humana;
 - A reparação do equipamento implica paragem longa do mesmo.
- **Preventiva Condicionada** – Contempla a medição de parâmetros pré-determinados, de maneira a analisar o estado do equipamento através de medição de vibrações, análise ao óleo entre outros.

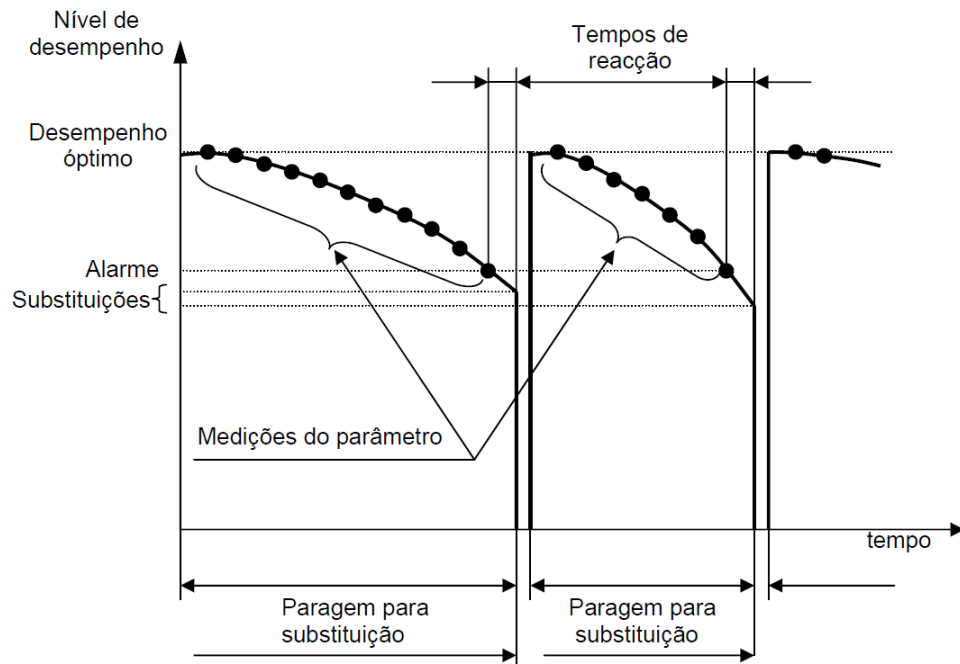


Figura 2.6 – Manutenção Preventiva Condicionada

A figura 2.6 representada por Marcorin e Lima (2003) ilustra a evolução ao longo do tempo de um órgão ou equipamento, submetido a este tipo de manutenção. Podemos verificar que as duas curvas apesar de igualmente progressivas apresentam distintas degradações conduzindo à substituição preventiva do mesmo.

Quando o componente atinge o seu limite, estamos perante uma avaria eminente e deve ser substituído preventivamente, contudo, apresentam-se algumas dificuldades, nomeadamente:

- ✓ É necessário estabelecer uma correlação entre um parâmetro mensurável e o estado do sistema;
- ✓ Determinação do valor de alarme;
- ✓ Existência de degradação progressiva e detectável.

Para obtenção destes parâmetros é necessário:

- Vigilância e monitorização contínua;
- Rotina periódica da leitura dos parâmetros;

No anexo I encontra-se uma tabela com a frequência da rotina a óleos consoante o equipamento.

- **Manutenção Corretiva** – Analisa o estado do equipamento, as avarias repetitivas, pontos críticos de maneira a repor o bom funcionamento dos equipamentos.

Contudo trás algumas desvantagens, pois:

- Diminui a disponibilidade dos equipamentos e máquinas afetando a produção;
- Diminui ainda a vida útil dos equipamentos/ instalação fabril;

Como não é possível prever quando ocorrerá uma avaria obrigando a uma manutenção corretiva não é possível eliminar este tipo de manutenção. Esta é aplicada quando os custos indiretos da avaria são mínimos e não implica perigo, ou quando existe mais que um equipamento, não afetando o serviço da unidade fabril.

A manutenção Corretiva pode ainda ser dividida em:

- **Manutenção Curativa** – Reparação efetuada definitivamente, sendo a preparação de trabalho efetuada após análise da avaria e quando a urgência da reparação o permite.
- **Manutenção Paliativa** – Reparação efetuada provisoriamente e resolução definitivamente quando houver condições.

- ✚ **Manutenção não planeada** – Manutenção de emergência, mais conhecida por Breakdown, pois implica a paragem imediata do equipamento.

Para qualquer tipo de manutenção a operação tem um papel muito importante, pois são eles os primeiros intervenientes na avaliação do tipo de reparação necessária do equipamento além de terem o conhecimento de como realizar manobras, da disponibilidade ou não do equipamento, da alteração de parâmetros de controlo, influenciando decididamente a ação da engenharia e da manutenção.

2.3.2. *Manutenção Produtiva Total (Total Productive Maintenance - TPM)*

Para Marco e Vanda (2003) o TPM significa Manutenção Produtiva Total e é uma nova filosofia de gestão da manutenção que surgiu inicialmente no Japão e que teve grande expansão.

À medida que a robotização e a automatização progredem ter-se-á de pensar que são as instalações industriais, (máquinas), que fazem a qualidade. Das instalações industriais não só depende a qualidade mas também a produção, o custo, os atrasos, a segurança e o ambiente.

O nível de automatização de algumas das modernas instalações é por vezes inimaginável. Poder-se-á pensar à primeira vista que o homem deixou de ser útil nestas unidades industriais robotizadas. No entanto a manutenção destas instalações só pode ser realizada por engenheiros e operários altamente especializados.

A principal vantagem do TPM é maximização da utilização da capacidade dos equipamentos, aumento da segurança

O TPM baseia-se no envolvimento sistemático de operadores, técnicos de manutenção, e supervisores para identificar e evitar avarias, funcionamento deficiente, e restrições de capacidade de equipamentos, através da identificação e resolução das causas. Envolvimentos dos operadores de produção em tarefas simples de manutenção no sentido de aumentar a eficácia do equipamento. Os textos seguintes referem-se a esta ferramenta como TPM.

Objetivos do TPM:

- ◆ A exploração eficaz de instalações sofisticadas que requer uma organização especial. Com o TPM consegue-se essa organização especial, onde se envolvem todos os participantes da empresa, desde o diretor até ao mais modesto operador. A introdução do TPM é extremamente rentável quando é bem aplicada.
- ◆ Sendo o TPM uma técnica também de manutenção, os resultados obtidos em termos de ganhos de produtividade pode atingir os 100%. Estes resultados são obtidos exclusivamente a partir de uma diferente filosofia de exploração dos equipamentos existentes, sem recorrer a novos investimentos em equipamentos.
- ◆ O TPM baseia-se na prática dos Zero Defeito. Logo que este principio è aplicado a produtividade das instalações e do pessoal melhora, o custo de fabrico baixa e os stocks diminuem.

Hoje a competitividade não se realiza em termos nacionais, mas sim em termos globais. É uma necessidade fundamental aumentar a eficiência técnica e económica das empresas. Aceitar este desafio quer dizer que se deverá ter uma atitude de melhoramento contínuo em todas as áreas da empresa.

Muitas empresas Europeias e também já muitas empresas Nacionais introduziram a ISO 9000 e avançaram na introdução do TPM. A eficiência interna de uma empresa, que se baseia na execução correta das atividades, é medida, de acordo com a filosofia TPM, através do indicador “Overall Equipment Efficiency” – OEE, ou Eficiência Global do Equipamento.

O “Overall Equipment Efficiency” é um indicador do desempenho global, pois relaciona e associa a disponibilidade, a produtividade e a qualidade.

A manutenção pode ser dividida em quatro estados, em que cada um deles representa um passo no sentido do TPM:

Manutenção de Avarias - Manutenção Preventiva - Manutenção Produtiva – TPM

Manutenção de Avarias: reparação do equipamento depois de ocorrer uma avaria, ou deterioração de performance.

Manutenção Preventiva: o objetivo é prever as avarias por forma a executar as intervenções de uma forma antecipada e planeada. Este tipo de manutenção é composto por três tarefas básicas:

- Manutenção diária: limpeza, verificação, lubrificação, e apertos.
- Inspeções periódicas, ou diagnósticos do equipamento para verificar a sua deterioração.
- Conservação do equipamento.

Manutenção Produtiva: este tipo de manutenção requer que se evite as avarias e defeitos de uma forma eficiente e económica:

- Melhorar ou modificar os equipamentos para evitar avarias ou facilitar as intervenções da manutenção.
- Projetar e instalar equipamento com baixos requisitos em termos de manutenção.
- Registrar a informação das inspeções diárias e das avarias, para melhorar a previsão de falhas.

- Criar um sistema de sugestões para ideias de melhoria.

Para complementar a manutenção produtiva, é necessário a participação direta de todos os departamentos e colaboradores nas atividades de manutenção da fábrica para maximizar a eficiência dos equipamentos. Para se atingir o TPM, é necessário que um certo nível de manutenção autônoma seja executado pelos operadores. Isto significa que é preciso dar formação aos operadores para suportar a implementação do TPM.

Quando se inspeciona um equipamento verifica-se que a ineficiência tem como origem uma das seguintes *sete grandes perdas*:

1- Avarias (Disponibilidade)

Quando um equipamento avaria pode acontecer que o pessoal da manutenção esteja ocupado com outras tarefas, o que origina grandes perdas de produção, que conseqüentemente terá de ser compensado através da ocupação de tempo não produtivo (fins-de-semana), ou trabalho extra. Algumas destas falhas estão relacionadas com o próprio equipamento, mas também acontece que por vezes o equipamento não é utilizado ou conservado corretamente.

2- Montagens e ajustes (Disponibilidade)

À medida que a diversidade de produtos aumenta, verifica-se que os tempos de configuração e ajuste dos equipamentos tornam-se cada vez mais importantes uma vez que podem representar um tempo não produtivo considerável. O tempo de configuração refere-se ao tempo necessário para mudar moldes e ferramentas, enquanto o tempo de ajuste diz respeito ao tempo adicional até que seja produzida a primeira peça conforme depois da alteração do produto.

3- Pequenas paragens (Performance)

Normalmente têm-se a tendência para ignorar as pequenas paragens, porque é relativamente fácil voltar ao estado de bom funcionamento. No entanto, um exame mais preciso pode revelar que estas paragens podem representar perdas de tempo produtivas consideráveis. As pequenas paragens muito frequentes mantêm os operadores ocupados e frustrados. Também é frequente encontrar situações em que as máquinas estão paradas devido a um outro fator externo: falta de matéria-prima, falta de operador, etc. Nestes casos, o equipamento está disponível para a produção mas acabam por produzir menos que o esperado, ou nos piores casos, não produzem nada.

4- Velocidade reduzida (Performance)

Por vezes acontece que o equipamento está a funcionar, mas devido a um qualquer problema, a sua velocidade é bastante reduzida quando comparada ao normal funcionamento.

Isto implica gastar mais tempo para produzir a mesma quantidade de peças. Também é frequente encontrar situações em que ninguém sabe ao certo qual a velocidade máxima em que a máquina pode funcionar sem causar problemas de qualidade ou danificar os componentes da mesma. Neste caso, a máquina é operada num nível de performance bastante inferior aquele para que foi concebida.

5- Defeitos e segundo processamento de peças (Qualidade)

Produzir peças com defeito (mesmo que o defeito seja pequeno), bem como o tempo necessário para processar as peças uma segunda vez, é uma forma de desperdício.

6- Arranque (Qualidade)

O início de laboração também pode originar perdas. Tal como os seres humanos pela manhã, as máquinas também levam algum tempo até atingir o seu ponto ótimo de funcionamento. Alguns componentes, ou ferramentas podem mesmo chegar a partir durante este período, originando paragens ou produtos com defeito.

7- Molde e ferramentas

Este tipo de perda advém das despesas adicionais para substituição ou reparação de moldes, ferramentas decorrentes de quebra ou desgaste de utilização. Nesta situação podem acontecer dois fenómenos, os repentinos e os crónicos. No primeiro a perda dá-se pelas paragens de função, já no segundo a perda dá-se pela degradação da performance do equipamento que decorre da redução da função do equipamento em relação à função original

2.4. Organização da Manutenção

A organização da Manutenção é de extrema importância para Heizer e Render (2004), devendo seguir uma estrutura consoante os objetivos, podendo ser um departamento centralizado, descentralizado, subcontratado ou ainda podendo as tarefas de manutenção realizadas pelos operadores dos equipamentos. Para perceber melhor do que se fala segue-se a sua definição:

- *Manutenção Centralizada* – Responsável por todas as atividades de manutenção;
- *Manutenção Descentralizada* – Quando os equipamentos são intermutáveis em diferentes áreas da empresa;
- *Manutenção subcontratada* – Requer elevado nível de especialização e o número de equipamentos é pequeno.

Na figura 2.8 encontra-se representado o organigrama tipo de uma estrutura de manutenção.

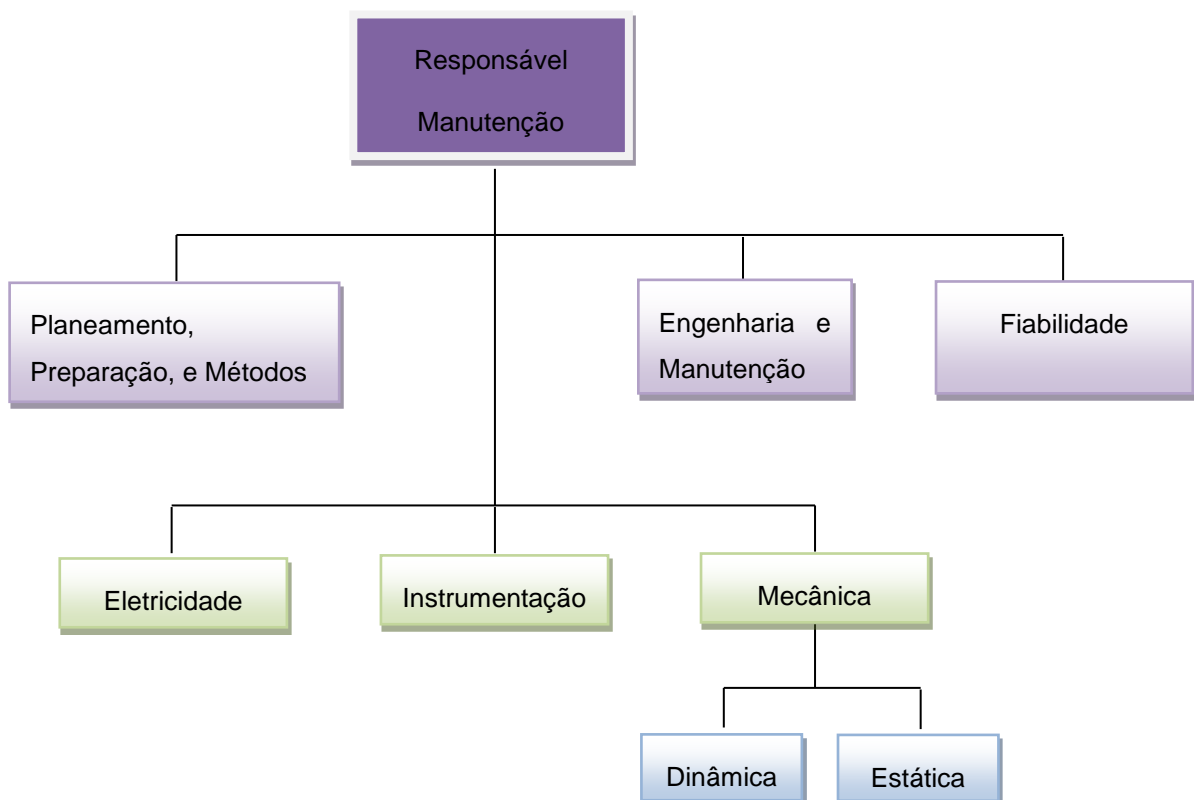


Figura 2.7 – Organigrama de Manutenção

Em seguida apresentamos as definições referentes a cada função conforme o organigrama da figura anterior, nomeadamente:

Responsável Manutenção: Esta figura de topo é responsável por todas as decisões ligadas à manutenção.

Planeamento: Planos de Manutenção

Preparação: Tem como objetivo a preparação de trabalho, ou seja define as operações a executar, assim como os meios materiais e tempos de execução. É ainda da sua responsabilidade a emissão das Ordens de Trabalho (OT) e Cadernos de Encargos (CE).

Programação: Responsável pela emissão de planos de trabalho e distribuição de meios humanos para execução dos mesmos, cumprindo os prazos de entrega.

Métodos: Tem como responsabilidade a identificação de materiais e a sua gestão técnica, organização técnica dos cadernos máquina.

Engenharia e Manutenção: Responsável por novos Projetos, especificações técnicas, compras de materiais e serviços.

Fiabilidade: Analisa a fiabilidade e manutibilidade dos equipamentos, sendo também da sua responsabilidade definir soluções na vertente da melhoria contínua.

Para finalizar temos a **execução** que é distribuída consoante as necessidades de intervenção sejam elas **mecânicas, elétricas** ou de **instrumentação**. Normalmente existe um supervisor em cada especialidade que é o responsável pelas boas práticas de trabalho, assim como pela segurança do pessoal e equipamentos, assim como pela emissão de relatórios dos trabalhos realizados.

2.5. Criticidade do equipamento

A Produção é a responsável pela emissão de pedidos de trabalho, uma vez que são os “donos” da instalação/ equipamento e são os primeiros intervenientes na reparação do mesmo. A eles cabe definir a prioridade dos trabalhos, contudo a manutenção tem também o dever de reportar qualquer anomalia detetada. Por norma quando um equipamento avaria é emitido com apoio ao sistema informático um pedido de trabalho, mais conhecido por notificação (NOT). Neste pedido deve estar descrito o tipo de avaria, identificado o equipamento, o tipo de especialidade e a prioridade do mesmo.

2.5.1. Processo de decisão da reparação

Para melhor entendermos este processo, devemos conhecer algumas definições, nomeadamente:

NOT – Requisita um trabalho a manutenção (ver anexo IV).

OT – Descreve a anomalia, as operações a efetuar, assim recursos necessários para a reparação (ver anexo V e VI), esta pode ser do tipo:

- CORR – Corretivas, em caso de emergência, ou seja para intervir de imediato, conhecida também como “Breakdown”.
- PROG – Programadas, OT’s sistemáticas com periodicidades fixas (Plano Longo Termo, Planos de manutenção)
- PERM – Permanentes, este tipo de OT’s são anuais e normalmente utilizadas para alocação de custos.
- AUX – Auxiliares, utilizada para atividades de inspeção.
- MODIF – Modificações, quando há necessidade de efetuar alterações.
- INVE – Investimento, normalmente utiliza-se em projetos.

Para além do tipo de OT, é necessário conhecer também a designação de especialidades agregadas normalmente utilizadas em software de manutenção, nomeadamente:

AJU – Mecânica

INS – Instrumentação

ELE – Eletricidade

TIN – Mecânica de instrumentos

DINA – Dinâmica

Na figura 2.9 esta representado um fluxograma do “caminho” a seguir para execução de um trabalho de manutenção, ou seja desde que é detetada a avaria até a fase de execução.

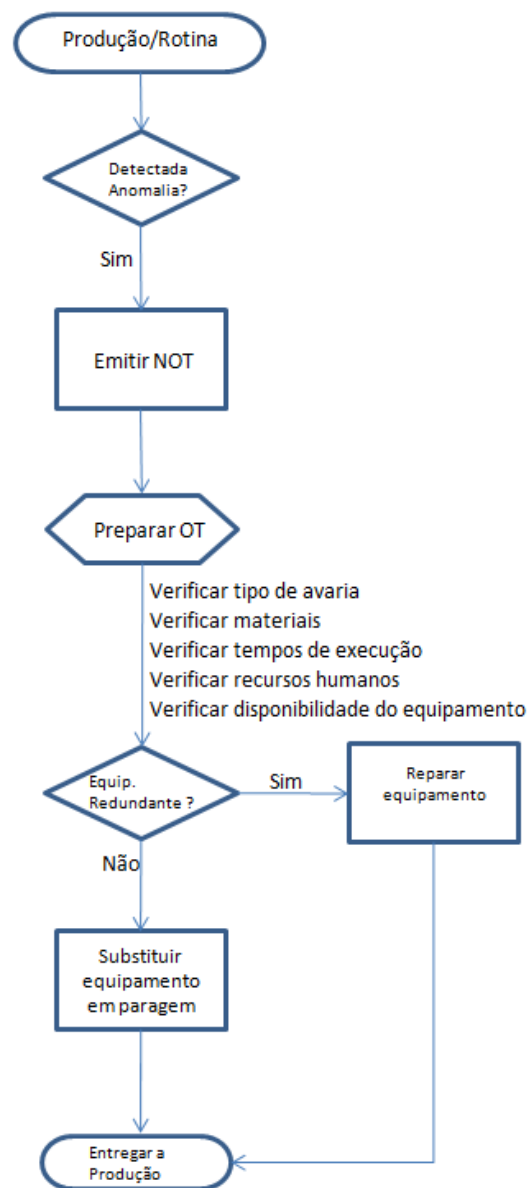


Figura 2.8 – Fluxograma de preparação de reparação

2.6. Custos agregados a Manutenção

Citando Marcorin e Lima (2003), ***“nenhum estudo de implementação de programas de manutenção, pode ser devidamente efetuado sem se considerar os custos envolvidos, pois são estes fatores os mais importantes a serem examinados para se decidir entre diferentes programas de manutenção. Os custos envolvidos são fundamentais para a decisão de realizar, ou não, atividades de manutenção.”***

Para Ferreira (1998) os custos são diretos ou indiretos. Os custos diretos resultam de:

- Produto de tempo gasto pela taxa horária da especialidade (executante);
- Valor de materiais substituídos, mais custos de transporte e de encomenda;
- No caso de o serviço ser subcontratado valor associado e todos os gastos inerentes deste a execução do CE até entrega do trabalho;
- Custos globais da manutenção, nomeadamente custos fixos (apoio administrativo, eletricidade, telefone, entre outros);
- Custos de materiais em stock e ferramentas.

Por outro os custos indiretos estão agregados a perdas de produção, sendo eles:

- Desclassificados – perdas de produção por contaminados, não-conformidades;
- Custos de inatividade, se o equipamento ou instalação esta parada a produção não produz;
- Custos de inoperacionalidade, uma vez que os equipamentos adquiridos têm um custo ao estarem parados vão ter despesas de amortização;
- Custos por não cumprimento dos prazos (perda de fornecedores, penalidades previstas em contrato).

Para Cabral (1998, pp.46) ***“os verdadeiros custos da manutenção, os que exprimem, realmente, o seu desempenho, não são os custos contabilísticos diretos. São estes e mais os que têm em linha de conta, também, as consequências da manutenção”***.



Figura 2.9 – Iceberg de custos

O Iceberg de custos representa os custos verdadeiros de manutenção, sendo que a zona submersa (4 vezes maior) representa todos os custos difíceis de quantificar (custos indiretos), por sua vez os custos contabilísticos (custos diretos) encontram-se na ponta visível, segundo Cabral (1998, pp.47).

2.7. Eficiência em Manutenção

Na manutenção é muito importante a relação dos resultados obtidos e os recursos utilizados. A esta relação dá-se o nome de eficiência (figura 2.11) e tem como finalidade conseguir acrescentar valor aos produtos, podendo ser aplicada em áreas distintas não só em manutenção.

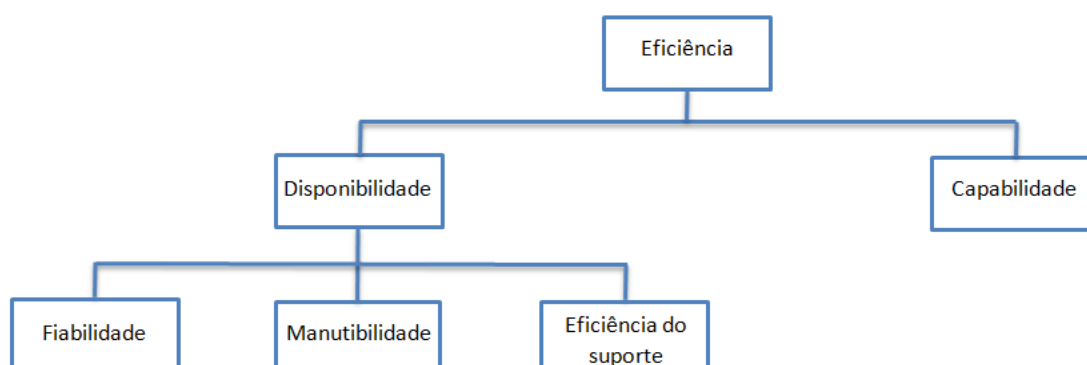


Figura 2.10 – Eficiência em Manutenção

Capabilidade: Capacidade de um equipamento produzir dentro da especificação pretendida.

Disponibilidade: É a probabilidade de o equipamento estar em funcionamento no instante t. Para aumentar a disponibilidade de um equipamento o número de paragens deve ser reduzido (confiabilidade), assim como o tempo gasto para resolver o problema (manutibilidade).

A disponibilidade do equipamento é dada pela expressão:

$$Disp = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR+MWT} \quad (1.1)$$

MTBF – Tempo médio de bom funcionamento

MTTR – Tempo médio para reparação

MWT – Tempo médio de espera

Se a disponibilidade tem como função garantir que não existem avarias, a capabilidade tem como responsabilidade garantir a produção de material de qualidade

Fiabilidade: É a probabilidade condicional de um dado material cumprir a sua missão por um tempo previsto e sujeito a um funcionamento normal. Medida por M.T.B.F.

Manutibilidade: Probabilidade de um equipamento ser recolocado nas condições originais, no limite de tempo pretendido sempre que necessário. Medida por M.T.T.R

Eficiência do suporte: Define a rapidez e os custos com que se consegue intervir o equipamento através dos serviços de apoio. Medida por M.W.T.

Capítulo 3

3.1. Enquadramento da Fiabilidade

Para Marcorin e Lima (2003), “*a redução do desempenho do equipamento, que traz a diminuição da qualidade e da produtividade, pode ser evitada com políticas adequadas de manutenção que garantam a eficiência do equipamento. A falta dessas políticas, além da redução da capacidade do processo, acarreta paragens do equipamento, reduzindo a sua disponibilidade. A disponibilidade dos equipamentos depende da fiabilidade e da manutibilidade por eles apresentadas.*”

3.2. Fiabilidade e seus objetivos

A norma Francesa AFNOR (1998) define a Fiabilidade como a “*probabilidade de um equipamento, sistema órgão ou componente cumprir a função pretendida, em condições de utilização e por um determinado período de tempo.*”

Probabilidade é a razão entre o número de casos favoráveis e o número de casos possíveis; $0 \leq Pr \leq 1$.

Cumprir uma função requerida (missão) implica um patamar de admissão, abaixo do qual a função não é satisfeita.

Condições de utilização é a definição das condições de uso, ou seja, meio ambiente e suas variações, restrições a nível mecânico, químico, físico, etc. (o mesmo equipamento colocado em dois contextos diferentes não terá a mesma fiabilidade).

Período de tempo é a definição da duração da missão em unidades de medida do serviço.”

A fiabilidade tem como objetivos a melhoria do desempenho dos componentes, assim como da redundância dos equipamentos, devendo:

- ◆ Estabelecer e quantificar metas;
- ◆ Analisar e identificar componentes críticos, através da análise de falhas;
- ◆ É da sua responsabilidade indicar ações corretivas;

3.2.1. Requisitos da Fiabilidade

Cada vez mais a competitividade obriga a que os equipamentos tenham uma performance em crescente movimento, ou seja:

- ✚ As características dos equipamentos cada vez mais abrangentes \Rightarrow Forçando os sistemas a trabalhar muito perto do limite para o qual foram concebidos.
- ✚ O equipamento deve estar preparado para diferentes funções \Rightarrow Maior número de componentes agregados

Mas com a melhoria da performance aumenta o número de avarias, a não ser que haja medidas de prevenção adaptadas.

O conhecimento da fiabilidade por si só não nos dá a garantia de funcionamento do equipamento durante um determinado tempo, apenas a probabilidade de não falhar nesse intervalo. Sendo muito importante o know-how dos fabricantes através dos testes efetuados (Fiabilidade Intrínseca) e dos utilizadores devido a experiência da sua aplicação (Fiabilidade extrínseca).

3.3. Função Fiabilidade

Segundo Fernandes (2005), **“a fiabilidade é medida pelo tempo médio entre avarias – MTBF – em função do tempo de serviço”**.

Assim, num dado momento t , a probabilidade de sobrevivência de um determinado componente e dada por: $R(t) = \frac{N_S(t)}{N_0}$ (1.2)

por sua vez a probabilidade de falha é: $R(t) = \frac{N_F(t)}{N_0}$ (1.3)

N_0 - número de equipamento todos iguais, nas mesmas condições, no momento $t=0$;

N_s - número de equipamentos sobreviventes no momento t ;

N_F - número de equipamentos falhados no momento t ;

$R(t)$ - probabilidade de sobrevivência;

$F(t)$ – probabilidade de falhar.

O mesmo autor refere que a fiabilidade tende a diminuir com o tempo, enquanto a não fiabilidade aumenta com o tempo. Por conseguinte quer o equipamento se encontre ou não parado a soma da fiabilidade e in fiabilidade é sempre igual a 1, representado por:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (1.4)$$

$R(t)$ – Função Fiabilidade

$F(t)$ – Função de probabilidade acumulada de avarias (infiabilidade)

Seja $f(t)$ a função densidade de probabilidade de falha – Função Mortalidade – que traduz a percentagem de equipamentos que estão a falhar por unidade de tempo no intervalo de tempo $d(t)$ temos:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{d(t)} \quad (1.5)$$

Logo teremos:

$$\frac{dR(t)}{dt} = -f(t) \quad (1.6) \quad \text{ou} \quad F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (1.7) \quad \text{e} \quad R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (1.8)$$

Filipe (2006, pp.12) menciona que deve considerar-se avaria quando não for possível realizar a função dentro das especificações de funcionamento.

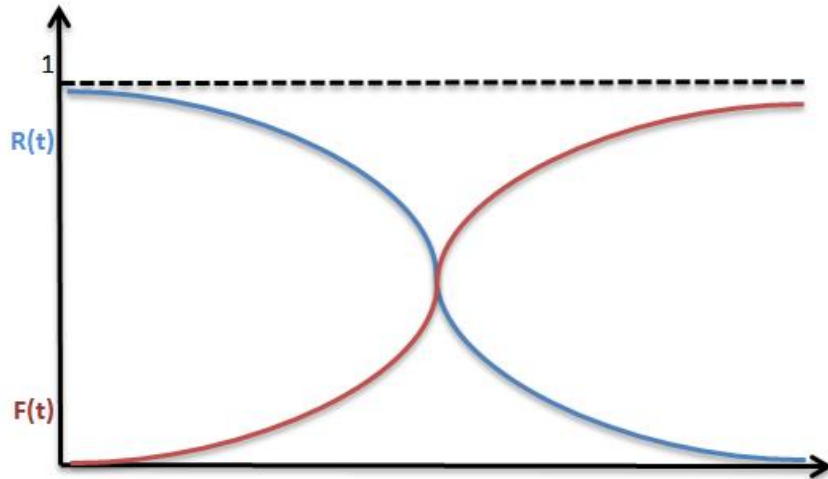


Figura 3.1 – Função Fiabilidade vs Infiabilidade

Ao analisar a figura 3.1 concluímos que a $R(t)$ é a função complementar de $F(t)$.

3.3.1. Taxa Instantânea de falhas

A função instantânea de falhas, ou função de risco, $\lambda(t)$ é dada pela expressão:

$$\lambda(t) = \frac{N^\circ \text{ de falhas por unidade de tempo}}{N^\circ \text{ de itens expostos à falha}} = \frac{\frac{dN_f(t)}{dt}}{N_s(t)} \quad (1.9)$$

$$\Rightarrow \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.10)$$

A equação 1.9 representa uma função densidade de probabilidade condicional de falha, e traduz a taxa à qual os equipamentos estão a falhar (N_f) por unidade de tempo no momento t , em relação ao número de equipamentos sobreviventes, N_s , até t .

Na figura 3.2 esta representada a curva $\lambda(t)$ que representa a curva de mortalidade, e é vulgarmente conhecida por curva de banheira. Verifica-se a existência de três períodos distintos, nomeadamente infância, maturidade e envelhecimento em que a infância e o envelhecimento dependem diretamente do tempo enquanto o período de maturidade é praticamente constante.

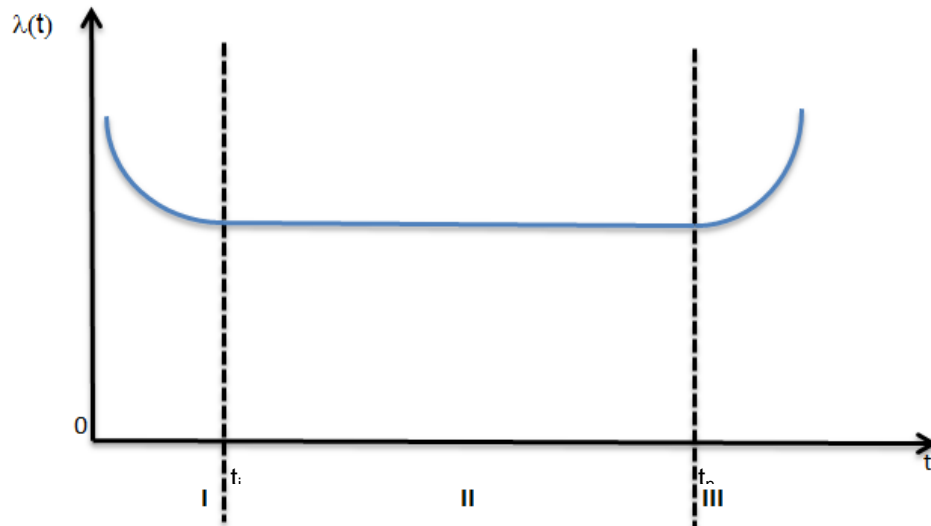


Figura 3.2 – Curva da banheira

I – Período de mortalidade infantil ou de infância

II- Período de vida útil ou de maturidade

III- Período de desgaste ou de envelhecimento

Serrano (2009) define os períodos da seguinte forma:

No primeiro período, todos os equipamentos de uma amostra são novos ao serem colocados em serviço o que implica uma taxa elevada de falhas - $\lambda(t)$ - devido a existência de defeitos, estes podem ser erros de concepção, defeitos de fabrico, controlo de qualidade deficiente, instalação incorreta.

No período de vida útil apenas os equipamentos originalmente não deficientes estão em serviço, apresentando uma taxa de avaria constante. Esta fase termina na idade que define a duração ou vida nominal do componente frequentemente denominado por período de maturidade ou de vida útil.

“Ao ser atingida a idade, entra-se no período de desgaste ou envelhecimento. Nesta fase, a taxa de avarias do componente tendera a crescer acentuadamente como consequência do aparecimento de modos de falha relevantes.”, Serrano (2009).

Da mesma maneira podemos relacionar o MTBF como o inverso da taxa de avarias quando a mesma é constante.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (1.11)$$

Analogamente temos a manutibilidade que é medida por:

$$MTTR = \frac{\sum \lambda_i T_i}{\sum \lambda_i} \quad (1.12)$$

λ_i – Taxa de avaria do componente

T_i – Duração média das tarefas de manutenção do componente

A taxa de reparação (μ) é o inverso do MTTR e é dada pela expressão:

$$\mu = \frac{\text{número total de reparações}}{\text{tempo total de reparações}} \quad (1.13)$$

O MTTR e μ são indicadores de manutibilidade.

Na figura 3.3 encontram-se esquematizados os conceitos anteriormente definidos (MTBF e MTTR) por Ferraz.

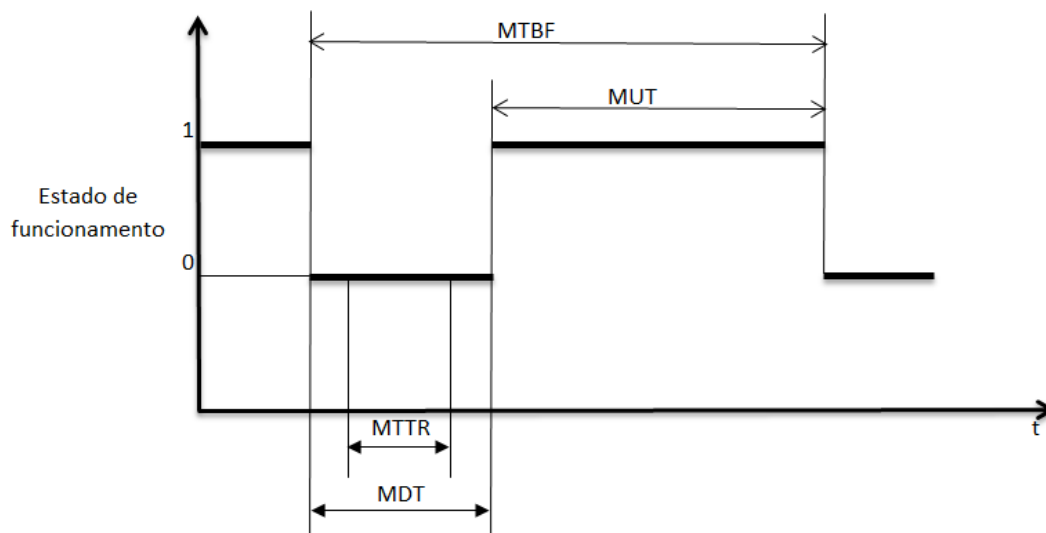


Figura 3.3 – MTTR e MTBF

MDT – Média tempos de paragem

MUT – Média do tempo de funcionamento

Para Ferreira (1998) o intervalo representado pelo MDT é o período de tempo durante o qual o equipamento esta indisponível para realizar a sua função, depende da dimensão da avaria ou do tempo de intervenção pela manutenção e do tempo a ser colocado em marcha. Por sua vez o MUT representa a disponibilidade do equipamento naquele intervalo para assegurar a função pretendida.

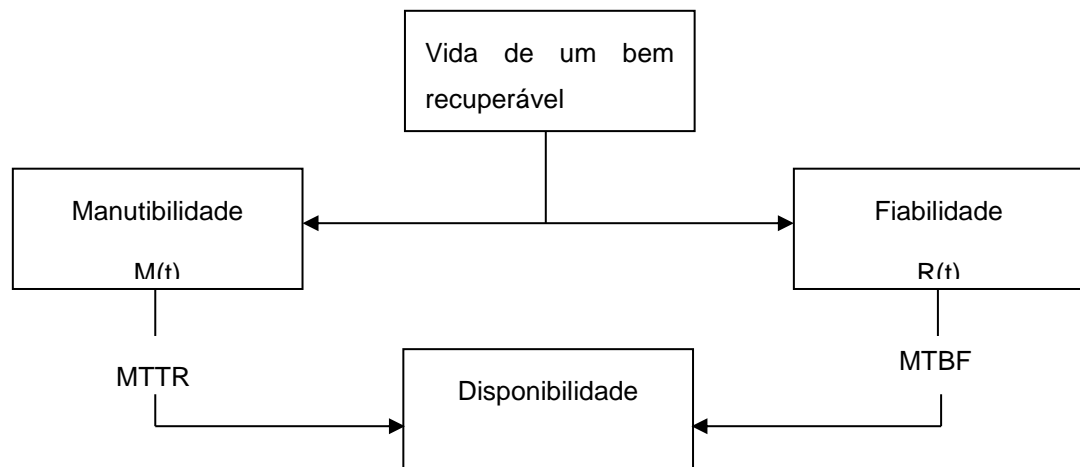


Figura 3.4 – Relação entre fiabilidade, manutibilidade e disponibilidade

Segundo Monchy (1996) existe uma relação entre funções, pois dependem umas das outras para o bom funcionamento do equipamento como se pode ver na figura anterior.

Capítulo 4

4.1. Enquadramento do Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM)

Devido a concorrência entre empresas ser cada vez maior, estas procuram a excelência nos seus produtos e serviços de maneira a acrescentar valor e qualidade aos mesmos. Neste contexto muito contribui a manutenção, contudo por si só não é suficiente sendo então aplicado um novo método conhecido como RCM, devido a necessidade por sistemas mais confiáveis, minimização de gastos e maximização de lucros.

4.2. RCM e Objetivos

Reliability Centered Maintenance (RCM) é definido por Nowlan et al (2007) como **“o método utilizado para determinar o tipo de metodologia de manutenção mais efetivo para o tratamento de falhas potenciais.”**

A aplicação deste método envolve a identificação de ações que quando executadas tem o objetivo de reduzir a probabilidade de falha de um equipamento, bem como os seus custos de manutenção.

4.2.1. Questões de resposta do RCM

Segundo Dhillon (1999), o RCM tem como finalidade responder as questões de necessidades da Manutenção de qualquer equipamento ou serviço no âmbito operacional, nomeadamente:

- **Função do equipamento no seu contexto atual** – a função e performance deve ser definida no seu contexto operacional, a quantificação desta não deve ser demasiado superficial.

- **De que forma falha no cumprimento das suas funções** – quando um componente/ equipamento não esta nas condições especificas, sendo importante associar a cada função as falhas funcionais associadas.
- **O que provoca cada falha operacional** – Identificar as falhas, de maneira a que o RCM consiga analisar e identificar a raiz de causa da falha.
- **O que acontece quando a falha acontece** – Devem ser registados as consequências do modo de falha, sendo que este trabalho deve ser executado por pessoal qualificado e que opere o equipamento para que não se retirem conclusões erradas.
- **Qual a importância de cada falha** – Quantificam a importância de cada falha e são agrupadas por:
 - Falhas que expõem o sistema a riscos graves ou muito graves, mas sem consequências diretas, mais conhecidas por “falhas escondidas”;
 - Falhas com consequência de caracter ambiental ou de segurança;
 - Falhas com consequência operacional, pois afetam a qualidade do produto, prazos de entrega e custos;
 - Falha sem consequência operacional, o único custo associado é da reparação.
- **O que fazer de maneira a prevenir a falha** – Analise do modo de falha para determinar tarefas de manutenção preventivas:
- **O que fazer no caso de não se encontrar uma resolução** – determinar através do método RCM a procura de falha, conceção de novo equipamento.

4.2.2. Princípios RCM

Na tabela 4.1 estão descritos os princípios aplicados ao RCM, assim como o seu conceito.

Tabela 4.1 – Princípios RCM

Princípio	Conceito
Orientado para a função	Procura preservar a função do sistema ou do equipamento, não apenas a operabilidade
Focado no sistema	Tem como objetivo a funcionalidade do sistema
Centrado na Fiabilidade	Procura conhecer as probabilidades de falha em períodos específicos da vida dos componentes
Condicionado ao projeto	Tem como objetivo manter a fiabilidade inerente ao projeto atual do equipamento ou sistema.
Dirigido para segurança e economia	A segurança deve ser assegurada a qualquer custo, mesmo que implique alteração do projeto.
Orientado para tratamento de qualquer situação insatisfatória	Considera como falha a perda de função de um equipamento ou de não conformidade do processo.
Baseado em três tipos de trabalho de manutenção	Combina ações de manutenção baseada em intervalos de tempo, ações baseadas em condições, e ações na pro-atividade ou falhas ocultas. Utiliza ações corretivas para determinados tipos de equipamentos
É uma metodologia contínua	Deve ter uma aplicação contínua, de maneira a analisar os resultados para melhoria de novos projetos e da sistemática de manutenção

4.2.3. *Procedimento RCM*

O sistema RCM deve ser aplicado logo desde a concepção do equipamento, passando pelo seu desenvolvimento, pois só acompanhado todas as fases do processo é possível determinar os planos de manutenção adequados a cada um deles. Contudo durante a implantação e funcionamento destes os planos de manutenção serão modificados pela experiência de campo dos operadores.

Para Brauer et al (1987) devemos ter em consideração os seguintes critérios para os planos de manutenção:

- 1 – Não implica perigo para a segurança: Devem ser escolhidas as tarefas de manutenção preventiva que diminuam o custo do ciclo de vida.
- 2 – Implica perigo para a segurança: As tarefas de manutenção preventiva devem ser escolhidas de maneira a evitar que a fiabilidade e segurança do mesmo decresça, e por conseguinte reduz o custo de ciclo de vida do mesmo.

É através do plano de manutenção preventiva que novas falhas são detetadas e corrigidas, sendo a probabilidade de falha reduzida o que implica uma melhoria no custo efetivo deste.

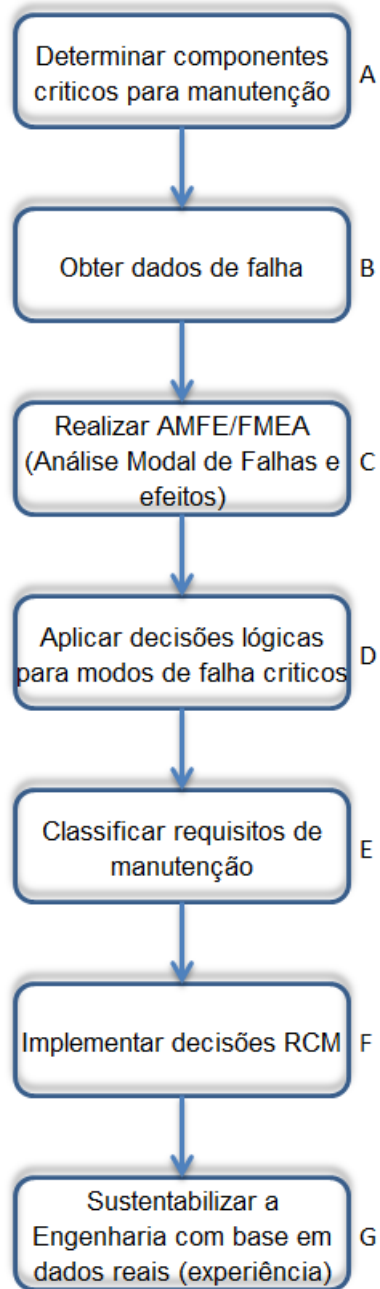


Figura 4.1 – Passos base no processo RCM

FMEA - Análise Modal de Falhas e efeitos - FMEA é a metodologia de base da análise RCM.

A Figura 4.1 mostra-nos os sete passos que constituem o processo de RCM de base, que segundo o mesmo autor define como:

- A. Normalmente os modo de falha e análise são empregados para identificar as partes com consequência mais significativa de maneira a tomar decisões para reparação antes de ocorrer acidente ou incidentes, através de alteração do plano de manutenção.
- B. Para implementar qualquer sistema é necessário dados, neste caso os mais relevantes são: probabilidades de falha e avaliações do grau de importância das falhas, taxas de falha componente, e a probabilidade de erro do operador e da inspeção.
- C. Através do FMEA a analista calcula as probabilidades de falha, de maneira a atribuir a criticidade de cada falha. A análise a efetuar deve ser qualitativa e quantitativa para se ter uma boa base para classificação de falhas. No decorrer da análise, a metodologia FMEA identifica cada função do sistema e as falhas associadas. Ao efetuar uma análise mais aprofundada identifica os modos de falha associados a cada uma delas, e as consequências destas sobre o sistema.

Uma particularidade ao nível de sistema geralmente observada na prática é a ampla possibilidade de existência de modos de falha múltiplos associados a uma mesma falha.

- D. Esta etapa envolve efetuar perguntas standard para avaliação dos resultados, e assim identificar as tarefas e os intervalos apropriados para a manutenção preventiva intervir, e reduzir a incidência de cada modo de falha.

A lógica de decisão usada neste processo consiste em dois níveis "

Nível 1: Este nível de análise atribui uma categoria a cada modo de falha, nomeadamente ameaça evidente para a segurança; ameaça oculta à segurança; potencial problema operacional e econômico, e problema com o desenvolvimento econômico, mas nenhuma segurança ou operacionais, consequências.

Nível 2: Este nível usa causas para cada modo de falha para selecionar as tarefas necessárias de manutenção, através da resposta a algumas questões, tais como:

Existe uma tarefa de reparação relevante e eficaz que reduza a taxa de falha?

Existe alguma tarefa relevante e eficaz?

Existe uma monitorização do operador relevante e eficaz para a tarefa?

Existe uma combinação relevante e eficaz de tarefas?

- E. Este passo utiliza a lógica de decisão da etapa anterior para resolver os requisitos de manutenção preventiva em três classificações e definir um perfil de tarefa de manutenção são eles:
- Requisitos de tempo de manutenção: Programados para substituição de componentes ou equipamentos consoante o seu tempo de funcionamento.
 - Requisitos de monitorização das condições de manutenção: Efetuados através de testes ou inspeções não programadas de maneira a detetar falhas durante o funcionamento do equipamento.
 - Requisitos com a condição de manutenção: Inspeções ou testes programados (rotinas) que após análise determina se o equipamento pode continuar ou não em serviço.
- F. Implementar decisões RCM: Esta etapa está preocupada com a criação e promulgação das tarefas de manutenção e as suas frequências.
- G. Engenharia base de sustentação com base em dados reais: Para este passo é muito importante a experiência que se tem do equipamento, de maneira a que o processo RCM se possa focar na redução dos encargos de manutenção programada e os custos de suporte mantendo o equipamento em bom estado de conservação. O objetivo é rever decisões anteriores, a fim de eliminar a manutenção excessiva e minimizar os custos, mantendo a fiabilidade e segurança desejada do equipamento.

4.2.4. *Benefícios do RCM*

Com a implementação do RCM, a empresa beneficia de:

- Maior Segurança e Proteção Ambiental;
- Melhoramento no Desempenho Operacional de equipamentos;
- Maior Eficiência de Manutenção;
- Aumento da Vida Útil dos Equipamentos;
- Atualização do Banco de Dados de Manutenção;
- Motivação em Equipa;
- Social.

O RCM deve ser aplicado a qualquer equipamento de maneira a melhorar a sua eficiência, não apenas a equipamentos críticos.

Capítulo 5

5.1. Caso Prático: Manutenção de um equipamento

Neste capítulo vamos apresentar a reparação de um equipamento crítico numa instalação petroquímica que pode levar à paragem da mesma.

5.1.1. Tipo e Classificação de Compressores

Antes de entrarmos na descrição propriamente dita do problema é necessário conhecermos alguns conceitos associados, nomeadamente:

Compressores - São sistemas mecânicos constituídos por uma parte fixa e uma rotativa ou alternativa destinada a aumentar a pressão dos fluidos.

Os compressores são classificados por Ferraz consoante o tipo de movimento e forma da zona rotativa, podendo ser:

Volumétricos	Alternativos	
	Rotativos	<i>Palhetas</i>
		<i>Parafusos</i>
		<i>Lóbulos</i>
Dinâmicos	Centrífugos	
	Axiais	

Figura 5.1 – Classificação de Compressores

Compressores Volumétricos – Nos compressores volumétricos (ou deslocamento positivo), a elevação de pressão é conseguida pela redução do volume que o gás ocupa.

Os compressores volumétricos são classificados como:

✚ *Compressores alternativos* – Este tipo de equipamento utiliza um sistema biela-manivela para converter o movimento rotativo de um eixo no movimento translacional de um pistão ou êmbolo; Este tipo de compressor aspira e descarrega o gás respetivamente nas pressões momentaneamente correntes na tubagem de aspiração e descarga.

✚ *Compressores rotativos*

- Compressores de palhetas (ver figura 5.2) – Possuem um rotor ou tambor central que gira excentricamente em relação ao corpo, por sua vez o tambor possui rasgos radiais que prolongam por todo o seu comprimento onde são inseridas palhetas retangulares.

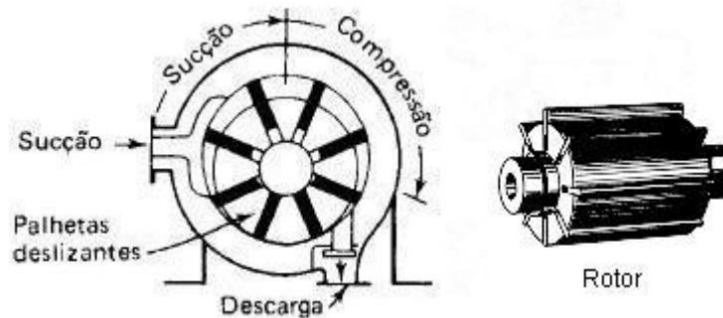


Figura 5.2 – Compressor de palhetas

- Compressores de parafusos ou engrenagens – “ **este tipo de compressor contém dois rotores em forma de parafusos que giram em sentido contrário, mantendo entre si uma condição de engrenamento. A conexão do compressor com o sistema se faz através das aberturas de sucção e descarga, diametralmente opostas**”, segundo Ferraz.
- Compressor de lóbulos (ver figura 5.3) - Este tipo de compressor possui dois rotores que giram em sentido contrário mantendo uma folga muito pequena no ponto de contacto entre si e em relação ao corpo.

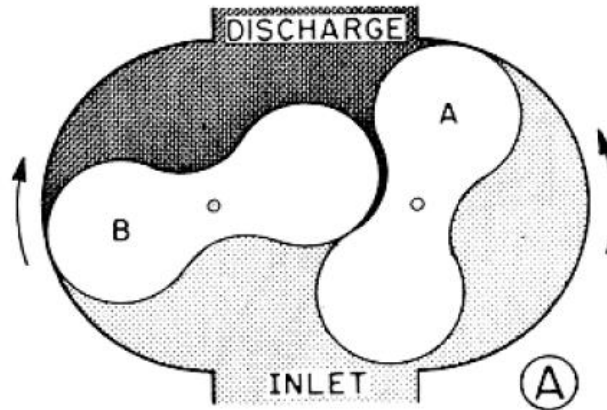


Figura 5.3 – Compressor de lóbulos

Compressores Dinâmicos - Os compressores dinâmicos efetuam o processo de compressão de maneira contínua.

- ✚ Compressor centrífugo – Neste tipo de compressor o gás é aspirado ininterruptamente pela abertura central do impelidor e descarregado pela periferia do mesmo, através de um movimento provocado pela força centrífuga que a rotação provoca.
- ✚ Compressor Axial – Estes são munidos de um tambor rotativo em cuja periferia são dispostas séries de palhetas com espaçamento circular entre elas.

5.1.2. Características dos compressores rotativos

Falamos sobre as características destes compressores porque é sobre eles que vai incidir este capítulo.

Em termos de Vantagens estes compressores apresentam:

- Rotação e velocidade elevada, permitindo acoplamento direto e dimensões reduzidas;
- A base de assentamento pode ser relativamente pequena;
- O rendimento volumétrico além de elevado não depende da relação de pressão do compressor;
- Têm apenas uma válvula na retenção de carga;
- O arrefecimento pode ser feito durante a compressão por meio de óleo;

Contudo também existem desvantagens que podem levar a rotura do equipamento, são elas:

- A lubrificação a efetuar tem de ser eficiente e periódica;
- Pode haver contaminação do gás com óleo lubrificante, sendo necessário separador de óleo na instalação;
- Devido ao atrito entre o rotor e o corpo irá verificar-se um desgaste considerável;
- É provável haver fugas internas de gás.

5.1.3. Compressores de lóbulos

Uma vez que o equipamento que vai ser descrito no caso prático é um compressor por lóbulos segue uma pequena definição de funcionamento do mesmo.

Este tipo de compressor possui dois rotores que giram em sentido contrário, mantendo uma folga muito pequena no ponto de tangência entre si e o corpo. O gás entra pela aspiração e ocupando a câmara de compressão, e por fim é conduzido a tubagem pelos rotores.

Embora este tipo de compressor seja classificado como volumétrico, devido aos rotores deslocarem apenas o fluido de uma região de baixa pressão para uma de alta não possuem compressão interna.

5.2. Análise inicial para reparação de um compressor

Apesar das rotinas de lubrificação (ver anexo II) e substituição de alguns componentes periodicamente (ver anexo III), o equipamento foi parado por aquecimento. Após abertura e inspeção visual do mesmo verificou-se a necessidade de enviar o equipamento para reparar no exterior.

Este compressor é constituído por:

- 2 Rotores (lóbulos) – um mandante e outro mandado com veios aplicados;
- 1 Estator;
- 2 Tampas de fecho do estator com placas aplicadas.

Após entrega do equipamento na empresa de reparação, foram inicialmente efetuados testes de ensaios não destrutivos, mais precisamente inspeção visual, líquidos penetrantes, assim como controlo geométrico dimensional. Na tabela 5.1 estão descritas as elações após análise inicial.

Tabela 5.1 – Inspeção dos componentes

Controlo	Veios	Rotor mandante (ver anexo VII)	Rotor mandado (ver anexo VIII)
Visual		Em bom estado	Ligeira gripagem num dos topos e no diâmetro externo do rotor.
Líquidos Penetrantes	Não foram detetadas quaisquer fissuras		
Geométricas as faces do rotor		Encontrado um desvio resultante do empeno do veio	Encontrado um desvio resultante do empeno do veio e gripagem que o rotor apresenta
Dimensional moente dos rolamentos		Em consonância com a especificação	Em consonância com a especificação
Observações	Sem necessidade de desmontar os veios dos rotores.	Apesar de se verificar um empeno, estas não são relevantes tendo e conta as folgas em jogo.	Leituras do empeno do veio significativas, a avaliar durante a montagem

Foi também efectuada uma análise ao corpo do equipamento, que passamos a apresentar na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Inspeção ao corpo

Tampas + Placas (ver anexo IX)	Estator (ver anexo X)
Os valores lidos nos furos/ alojamentos de ambas as tampas variam entre si, mas estão dentro das tolerâncias	O exterior apresenta sinais evidentes das gripagens ocorridas no seu interior
Valores de empeno nas faces interiores das tampas - nas placas - fora de especificação.	As faces não estão paralelas, apresentado um desvio
	O interior apresenta deformação, mas não é relevante.

5.3. Estudo da fiabilidade e disponibilidade do equipamento

Para o estudo da disponibilidade do equipamento vamos utilizar a **distribuição de Weibull**, que é uma distribuição de probabilidade contínua, normalmente utilizada nos estudos de tempo de vida de equipamentos e estimativa de falhas.

Na tabela 5.3 estão os tempos de reparação referentes aos 2 últimos anos de funcionamento do equipamento em estudo.

Tabela 5.3 – Tempos de Reparação [h]

4,00	16,00	8,00	71,00	58,00	156,00
16,00	8,00	24,00	2,50	8,00	16,00
7,00	8,00	188,00	16,00	127,00	2,00
21,00					

Como se pode verificar estes tempos não são coerentes, existem tempos muito longos e tempos curtos. No caso dos tempos muito curtos, o custo inerente a indisponibilidade do equipamento aumenta podendo em alguns casos a frequência de certas atividades reduzir a confiabilidade do sistema.

Por outro lado, ao termos um período de manutenção muito longo a probabilidade de falha do equipamento pode originar perdas elevadas, logo a estratégia a adoptar pela manutenção deve ter em atenção que o período de resolução deve ser o menor possível de modo a manter a confiabilidade do equipamento, e não menos importante a redução de custos.

Tempos muito curtos ou muito longos advêm do tipo de modo de falha, pois contempla não só as reparações mecânicas (incluindo mudanças de óleo), como também as reparações eléctricas e de instrumentação.

As reparações mecânicas podem ser do tipo:

- Substituição acoplamento;
- Substituição flexível sistema hidráulico;
- Substituição de rolamentos;
- Revisão geral ao equipamento (contempla desmontagem em oficina – tempos longos)

5.3.1. Cálculo da disponibilidade do equipamento

A disponibilidade devido a manutenção é calculada considerando todos os factores que impossibilitem o funcionamento dos equipamentos.

Tabela 5.4 – Valor para cálculo da disponibilidade

MTTR	MTBF
Tempo para reparação [h]	Tempo entre falhas [h]
4,00	720
16,00	1200
8,00	2160
71,00	600
58,00	2040
156,00	2880
16,00	240
8,00	48
24,00	168
2,50	24
8,00	384
16,00	168
7,00	300
8,00	120
188,00	3360
16,00	1020
127,00	54
2,00	360
21,00	216
SOMA	
756,50	16062

$$Disponibilidade = \frac{\Sigma(MTBF-MTTR)}{\Sigma MTBF} = \frac{(16062 - 756,50)}{16062} = 0,9529$$

A disponibilidade não é mais do que a percentagem de tempo em que um equipamento está disponível para exercer a sua função, exceptuando o tempo em que está parado para manutenção ou por motivos de produção.

Considerando os valores apresentados na tabela 5.4 o equipamento esteve disponível em 95% do tempo.

5.3.2. Estudo da Função Distribuição Weibull

Segundo Pereira e Sena (2012) a função distribuição de Weibull pode ser aplicada ao estudo de algumas situações, tais como:

- **Previsão de falhas;**
- **Avaliação de planos de eliminação e prevenção de falhas;**
- **Justificação de alterações de projectos e tecnologia de componentes;**
- **Programação da manutenção de componentes, em particular, a sua substituição e inspecção;**
- **Previsão de consumo de componentes;**
- **Análise de garantias.**

Do estudo desta função é possível obter informação para classificação de vários tipos de falha, podendo suportar as estratégias de manutenção, assim como modelar sistemas que operam em série, pois o primeiro mecanismo a falhar leva a que todo o sistema falhe.

A fórmula da função Weibull pode ser escrita do seguinte modo:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (5.1)$$

Sendo:

F(t) – Probabilidade de falha

t – Representa o tempo até a falha

α - Parâmetro de escala

β - Parâmetro de forma

Os mesmos autores descrevem os parâmetros anteriores do seguinte modo:

Parâmetro de escala (α) – Este parâmetro apresenta valores discretos, nomeadamente o número de ciclos que leva a falha do equipamento.

Parâmetro de forma (β) – Este parâmetro “ **condiciona a forma gráfica da densidade de probabilidade de falha, podendo assumir vários valores em relação directa com o modo de falha.**”

Este parâmetro indica se a taxa de falha é crescente, decrescente ou constante consoante o valor que tomar, ou seja:

$\beta < 1 \Rightarrow$ Falha decrescente \Rightarrow Falha no período de mortalidade infantil ou de infância.

$\beta = 1 \Rightarrow$ Falha constante \Rightarrow Falha no período de vida útil ou de maturidade.

$\beta > 1 \Rightarrow$ Falha crescente \Rightarrow Falha no período de desgaste ou de envelhecimento.

5.3.3. Cálculo de fiabilidade envolvendo a disponibilidade

Na tabela 5.5 encontram-se os valores necessários para o cálculo do parâmetro de forma.

Tabela 5.5 – Valores de referência [h]

i	ti	$F(ti)=(i-0,3)/(n+0,4)$	$Yi=\ln\ln(1/(1-f(ti)))$	$\ln(ti)$
1	2,00	0,036082474	-3,30362951	0,693147181
2	2,50	0,087628866	-2,389141012	0,916290732
3	4,00	0,139175258	-1,89802475	1,386294361
4	7,00	0,190721649	-1,552999198	1,945910149
5	8,00	0,242268041	-1,28220259	2,079441542
6	8,00	0,293814433	-1,05590564	2,079441542
7	8,00	0,345360825	-0,858797897	2,079441542
8	8,00	0,396907216	-0,681842867	2,079441542
9	16,00	0,448453608	-0,51914459	2,772588722
10	16,00	0,5	-0,366512921	2,772588722
11	16,00	0,551546392	-0,220708967	2,772588722
12	16,00	0,603092784	-0,078986134	2,772588722
13	21,00	0,654639175	0,061250816	3,044522438
14	24,00	0,706185567	0,202783192	3,17805383
15	58,00	0,757731959	0,349043287	4,060443011
16	71,00	0,809278351	0,504972676	4,262679877
17	127,00	0,860824742	0,679059054	4,844187086
18	156,00	0,912371134	0,889800879	5,049856007
19	188,00	0,963917526	1,200551361	5,236441963

Na figura 5.4 esta representada graficamente a função weibull, como se pode verificar a correlação tem um valor muito perto de 1 o que indica uma correlação positiva, contudo decrescente.

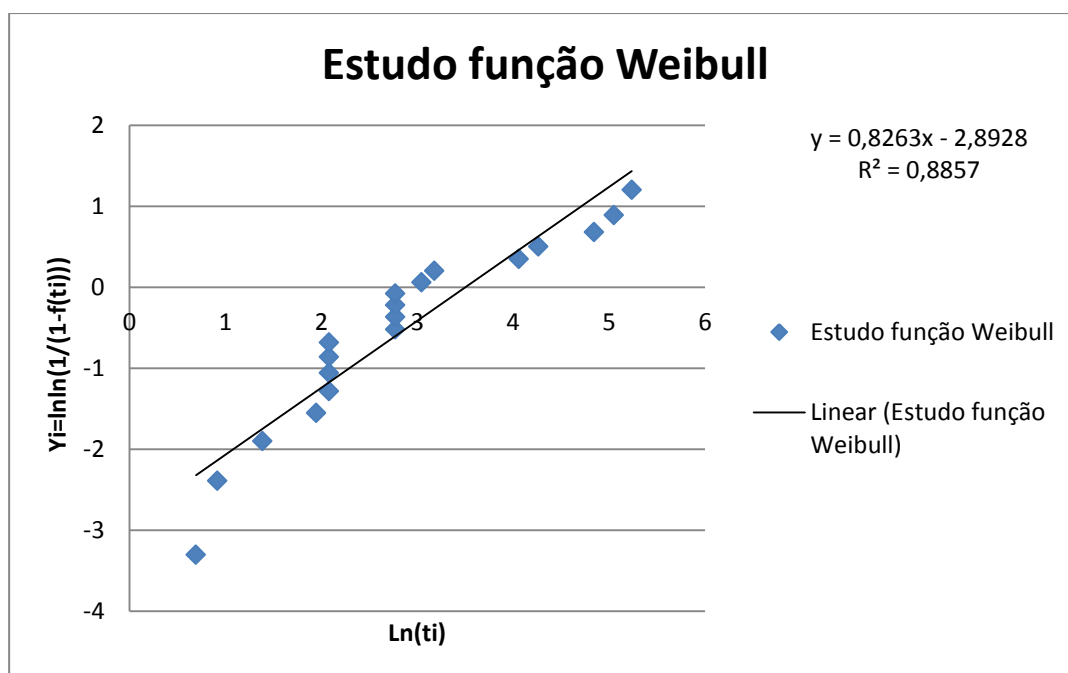


Figura 5.4 – Representação gráfica da função weibull

Para uma melhor interpretação, iremos em seguida efetuar o cálculo necessário para obtenção das variáveis necessárias para obter o valor dos parâmetros beta e alfa e em seguida compararmos.

Para realizar os cálculos dos parâmetros, vamos utilizar a ferramenta Excel através do módulo de ferramenta de análise.

Os dados obtidos foram os seguintes:

Tabela 5.6 – Estatística de Regressão

<i>R múltiplo</i>	0,941103678
<i>Quadrado de R</i>	0,885676133
<i>Quadrado de R ajustado</i>	0,8789512
<i>Erro-padrão</i>	0,406458085
<i>Observações</i>	19

Na tabela 5.6 encontram-se os valores referentes à estatística de regressão para obtenção dos valores em causa.

Tabela 5.7 – Resultado Residual

<i>i</i>	Previsto $Y_i = \ln \ln(1/(1-f(t_i)))$	Residuais
1	-2,320002324	-0,983627186
2	-2,135617871	-0,253523141
3	-1,747251898	-0,150772851
4	-1,284839023	-0,268160176
5	-1,174501472	-0,107701117
6	-1,174501472	0,118595833
7	-1,174501472	0,315703575
8	-1,174501472	0,492658605
9	-0,601751046	0,082606457
10	-0,601751046	0,235238126
11	-0,601751046	0,381042079
12	-0,601751046	0,522764912
13	-0,377051075	0,438301891
14	-0,266713525	0,469496717
15	0,46240836	-0,113365073
16	0,629517532	-0,124544856
17	1,110019381	-0,430960327
18	1,279964474	-0,390163595
19	1,434141233	-0,233589872

A tabela 5.7 apresenta os valores ajustados para cálculo dos parâmetros em causa, por sua vez ao analisarmos a figura 5.5 verificamos que o valor de correlação é igual a 1.

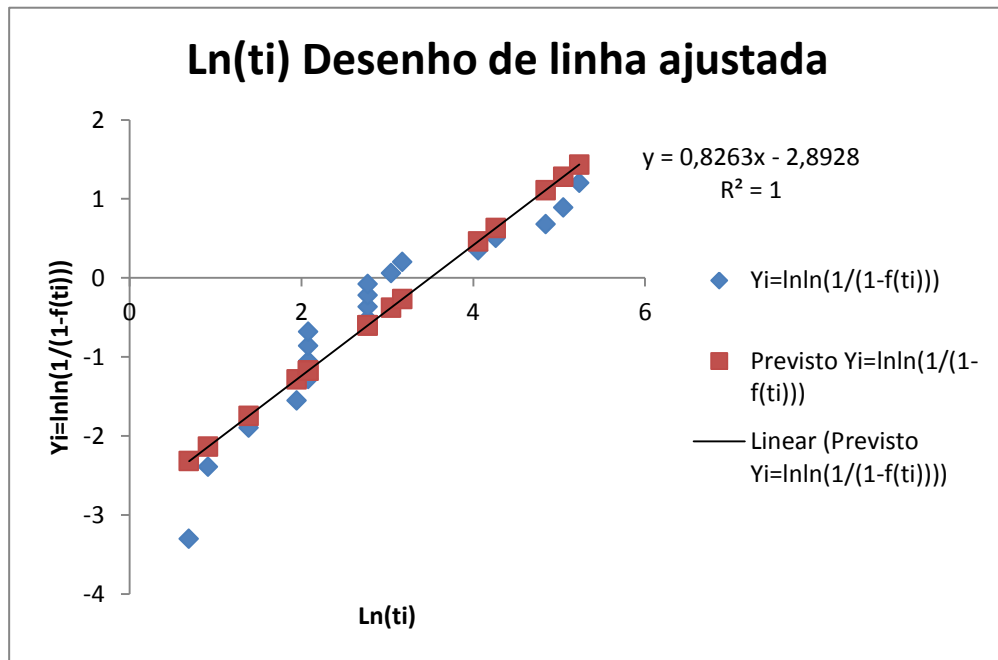


Figura 5.5 – Representação gráfica da função weibull ajustada

Na tabela 5.8 apresentamos os valores dos parâmetros em questão, onde podemos confirmar que o valor de Beta é inferior a 1, ou seja, $\beta < 1 \Rightarrow$ Falha decrescente \Rightarrow Falha no período de mortalidade infantil ou de infância.

Tabela 5.8 – Valor dos parâmetros

Interceptar	-2,89275275
Ln(ti)	0,826304199
Beta (β)	0,826304199
Alfa (α)	33,14303825

5.4. Reparação efectuada

Após a análise inicial conclui-se que a reparação a efectuar seria:

- ◆ Recuperação das zonas gripadas com enchimento por soldadura;
- ◆ Maquinação de ambos os topos dos rotores eliminando erros de geometria, garantido que o comprimento é igual;
- ◆ Verificação e eventual correcção do perfil exterior dos lóbulos, garantido o seu paralelismo;
- ◆ Equilibragem dinamicamente de ambos os rotores;
- ◆ Rectificação das faces interiores das tampas;
- ◆ Maquinação da base das tampas (sapatas), de maneira a garantir igual cota ao centro;
- ◆ Maquinação das faces do estator para garantir paralelismo;
- ◆ Efectuou-se um polimento com ferramentas abrasivas manuais ao interior do estator;
- ◆ Equilibragem do conjunto veio e acoplamento.

Para finalizar foi efectuada a montagem de todos os componentes do equipamento, rectificando guias de tampas, labirintos, caixas de O 'rings, entre outras.

Verificou-se também o alinhamento dos furos das cavilhas-guia entre as tampas e o estator, procedendo-se a sua maquinação para garantir a centragem dos furos. Após o fecho do compressor este levou uma pintura, finalizando assim o trabalho de reparação do mesmo.

Optou-se por reparar este equipamento, uma vez que é de extrema importância para o funcionamento da instalação, esta só foi possível porque existe uma redundância de equipamentos, mas futuramente é aconselhável adquirir um novo equipamento que fique em stock.

Capítulo 6

Conclusões

Nos tempos que correm a manutenção é uma função estratégica nas organizações, com o objectivo de garantir a disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos. Neste contexto competitivo, o planeamento da manutenção tem um papel fundamental em garantir a optimização da utilização de recursos preservando a segurança e integridade dos equipamentos, instalações e meio ambiente com optimização de custos.

Com a actual conjuntura surgem novos processos como o TPM e o RCM, com a intenção de acrescentar valor aos produtos e assim aumentar a competitividade entre empresas. Normalmente estas recorrem aos recursos internos quer sejam humanos, materiais ou financeiros, contudo necessitam de estar munidos de uma base de dados completa, para analisar a fiabilidade dos equipamentos e prevenir futuros obstáculos na produtividade.

É de extrema importância as empresas terem um departamento de fiabilidade com uma equipa diversificada capaz de alterar planos de manutenção para garantir a eficiência do equipamento, caso contrário haverá uma redução da capacidade do processo.

Á análise gráfica efectuada verificou-se que o equipamento apresenta uma taxa de falha que tem tendência a diminuir com o tempo, designada por falha infantil. Uma vez que a distribuição de Weibull tem um valor de β próximo de 1 a taxa de falha pode dizer-se que é razoavelmente constante, indicando a vida útil ou de falhas aleatórias do equipamento.

No caso pratico apresentado a disponibilidade do equipamento depende da reparação efectuada e das rotinas a ele associadas, de salientar que esta em curso um estudo para aquisição de um novo equipamento, pois este após análise verificou-se que não é possível garantir a sua fiabilidade devido a algumas folgas entre o rotor e o interior do estator.

Neste trabalho foram apresentados conceitos que por si só não são considerados importantes, mas ao serem integrados entre eles conseguem resolver situações complexas e por conseguinte aumentar a disponibilidade dos equipamentos.

Bibliografia

- Abdul-Nour, G.** (1991, Agosto). Effect of different Maintenance Policies on the Just-In-Time Production Systems. *Tese Doutorado*. Texas.
- Afey, I. H.** (2010). Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. *Scientific Research*.
- AFNOR.** (1998, Outubro). X60-500 Terminologie Industrielle.
- Assis, R.** (1997). *Manutenção Centrada na Fiabilidade - Economia das decisões*. Lidel.
- Belmonte, D. L., Scandelari, L.** (n.d.). Gestão do Conhecimento: Aplicabilidade prática na Gestão da Manutenção.
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., & Raouf, A.** (2000). *Maintenance, Modeling and Optimization*. Arabia Saudita: Kluwer academic Publisher.
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D.** (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering* (Vol. XXVII). New York: Springer.
- Bolaji, B. O., Adejuygbe, S. B.** (2012). Evaluation of Maintenance Culture in Manufacturing Industries in Akure Metropolitan of Nigeria. *Journal of information engineering and applications* , 37-47.
- Brauer, D., Brauer, G.** (1987). Reliability Centered Maintenance. *IEEE Transaction on Reliability* , 36 , 17-24.
- Cabral, J. S.** (1998). *Organização e Gestão da Manutenção dos conceitos á prática*. Lisboa: LIDEL-Edições Técnicas, Lda.
- Cassady, C., Schneider, K., Yu, P.** (n.d.). Impact of Resource Limitations on Manufacturing Productivity. Arkansas.
- Dhillon, B.** (1999). *Engineering Maintainability*. Ottawa: Elsevier Science & Technology books.
- Disraeli, B.** (2006). In A. Kelly, *Strategic Maintenance Planning*. Elsevier.
- Duarte, A. M.** (2010, Setembro). Acompanhamento e análise em componentes mecânicos. *Tese Mestrado* . ISEL.
- Fernandes, E. A.** (2005). *Produtividade pela Manutenção* (Vol. 19). Guarda: ESTG.
- Ferraz, Fagner,** COMPRESSORES, <http://fagnerferraz.files.wordpress.com/2010/10/compressores.pdf>, consultado em 20-08-2012
- Ferreira, L. A.** (1998). *Uma Introdução á Manutenção* (1ª Edição ed.). Porto: Publindústria.
- Ferreira, M., Piedade, V.** (2003). Abordagem Integrada para a Melhoria dos Processos. 35-41. Setubal.
- Fiabilidade e Manutibilidade,** <http://www.rassis.com/manutencao.html>, consultado em 15-10-2012
- Filipe, F. M.** (2006). Gestão e Organização da Manutenção de Equipamentos de Conservação e

Manutenção de infra-Estruturas Ferroviárias. *Tese de Mestrado*. Porto: ISEL.

Heizer, Render. (2004). *Operations Management*. Prentice Hall, Inc.

International, A. E. (Ed.). (2008, Maio). Application of Reliability Centred Maintenance to optimize Operation and Maintenance, in Nuclear Power Plants. Austria.

Manutenção centrada em confiabilidade como ferramenta estratégica,
http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_tr0109_1353.pdf, consultado em 25-06-2012

Marcorin, W. R., Lima, C. R. (2003). Análise dos custos de manutenção e de não-manutenção de equipamentos produtivos. *Revista de Ciência & Tecnologia*, 11, 35-42.

Martin, M. H. (2006, Março). Implementing Reliability-Centered Maintenance analysis in a revised preventive maintenance program for F-15. *Tese Mestrado*.

Mckone, K. E., Schroeder, R. G., Cua, K. O. (2001). The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance. *Journal of Operations Management* (19), 39-58.

Monchy, F. (1996). *La fonction maintenance*. Paris.

Morais, M. C. (2007, Fev/ Junho). Notas de apoio de Fiabilidade e Controlo da Qualidade. Lisboa.

Moro, N., Auras, A. P. (2007). Introdução á Gestão da Manutenção. Florianópolis, Brasil.

Nowlan, F. S.,Heap, H. F. Reliability Centered Maintenance.

Nowlan, F. S., Heap, H. F. (2007). Reliability-Centered Maintenance. In R. Moore, *Selecting the right manufacturing improvement tools*. U.S.A.: Elsevier.

NP EN (Norma Portuguesa) 13306:2007, T. d. (2007). ISQ - Instituto Português da Qualidade.

Overman, R., Collard, R. (2003). The Complimentary Roles of Reliability-Centered Maintenance and Condition Monitoring. *IMC-2003 the 18th International Maintenance Conference*, (pp. 1-6).

Pereira, F. J. (2003). Fiabilidade. Setubal.

Pereira, F. J. (1996). Modelos de Fiabilidade em equipamentos Mecânicos. *Tese de Doutoramento*. Porto: Submetido FEUP.

Pereira, F. J.,Sena, F. M. (2012). *Fiabilidade e sua aplicação á Manutenção*. Publindústria.

Pereira, F. J., Viegas, J. C. (2001). Manutenção. Setubal.

Pinto, V. M. (1994). *Gestão da Manutenção*. Lisboa: Edições IAPMEI.

Rishel, T., Canel, C. (2006). Using a Maintenance Contribution Model to Predict The Impact of Maintenance on Profitability. *Journal Information & Optimization Sciences*, 27, 21-34.

Sacristán, F. R. (1992). *Gestão Industrial*. (L. d. Tito, Ed.) Mem Martins: Edições CETOP.

Sampaio, Chedas, Introdução à Manutenção Industrial
<http://www.enautica.pt/publico/professores/chedas/chedashomepage/Manut/IntrManutInd.pdf>

Santos, A. M., Brito, A. E. (n.d.). Fiabilidade de sistemas - uma aplicação. porto.

Seixas, Eduardo de Santana, MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE -

Estabelecendo a Política de Manutenção com Base nos Mecanismos de Falha dos Equipamentos <http://www.pessoal.utfpr.edu.br/jmario/arquivos/MCC%20Seixas.pdf> , consultado em 25-06-2012

Serrano, E. J. (2009, Setembro). Conceito, Classificação e Quantificação da Fiabilidade Humana na Relação Homem-Máquina. *Tese de Mestrado* . Lisboa: ISEL.

Simonetti, M. J., Souza, A. L., Leandro, C. R., Trabachuni, A., Ell, S. M. (n.d.). A Manutenção Centrada na Confiabilidade - Uma prática contemporânea. Tatú, Brasil.

Souris, J. (1992). (J. P. Silva, Trad.) Lisboa: LIDEL - Edições Técnicas, Lda.

Souza, Strauss Sydiso, Lima, Carlos Roberto Canelo, LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE, Une fonction en évolution, des emplois en mutation - Céreq Bref n° 174 - AVRIL 2001, <http://www.cereq.fr/cereq/b174.pdf>, consultado em 15-10-2012

Tuner, I. Y., Huff, E. M. (n.d.). *On the effects of production and maintenance variations on machinery performance* . California.

Tzu, S. (2006). Formulating maintenance strategy: A business-centered approach . In A. Kelly, *Strategic Maintenance Planning*. Elsevier.

Ungureanu, N., Ungureanu, M., Cotetiu, A., Barisic, B., Grozav, S. (n.d.). Principles of The Maintenance Manegement. *Scientific Bulletin, Fascicle: Mechanics Tribology, Machine Manufacturing Technoloy , Volume XVII*, pp. 69-72.

Wireman, T. (2005). *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance*. New York: Industrial Press, Inc.

Anexo I

Frequência de Rotinas

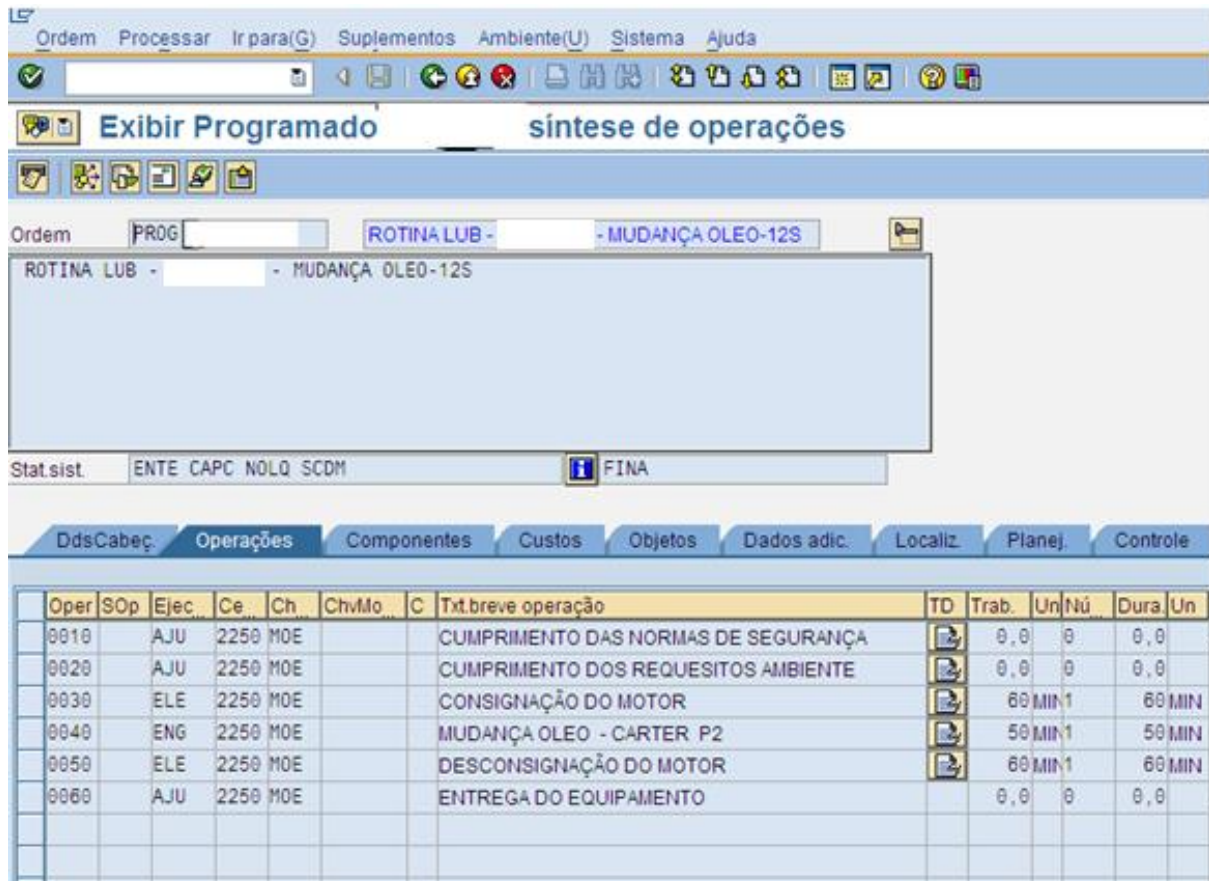
Equipamentos	1D	1S	1M	3M	6M	1A
Compressores de ar		☉			☉	
Caldeiras de vapor	☉	☉	☉		☉	
Monta-cargas			☉			
Transportadores pneumáticos			☉			
Transportadores de parafusos			☉	☉		
Bombas			☉			
Misturadoras			☉			
Deposito de armazenagem					☉	
Empilhadores			☉	☉		
Permutadores de calor					☉	
Ventiladores				☉		
Motores eléctricos				☉		
Transformadores eléctricos				☉		☉
Caixas de interruptores e fusíveis de iluminação e força motriz				☉		
Lâmpadas e reflectores					☉	
Baterias				☉		
Queimadores	☉	☉				
Instrumentos de comando					☉	
Correias de transmissão			☉			
Ligações à terra					☉	
Aparelhos de elevação			☉			
Tanques de pressão			☉			
Equipamento de exterior de incêndios					☉	☉
Maquinas de soldar				☉		

Legenda

- 1 D – Diariamente
- 1 S – Semanalmente
- 1 M – Mensalmente
- 3 M – Trimestralmente
- 6 M – Semestralmente
- 1 A – Anualmente

Anexo II

OT - Rotina de Lubrificação



Ordem

Stat.sist. ENTE CAPC NOLQ SCDM

Oper	SOp	Ejec	Ce	Ch	Chv/Mo	C	Txt.breve operação	TD	Trab.	Un	Nú	Dura	Un
0010		AJU	2250	M0E			CUMPRIMENTO DAS NORMAS DE SEGURANÇA		0,0	0		0,0	
0020		AJU	2250	M0E			CUMPRIMENTO DOS REQUISITOS AMBIENTE		0,0	0		0,0	
0030		ELE	2250	M0E			CONSIGNAÇÃO DO MOTOR		60	MIN	1	60	MIN
0040		ENG	2250	M0E			MUDANÇA OLEO - CARTER P2		50	MIN	1	50	MIN
0050		ELE	2250	M0E			DESCONSIGNAÇÃO DO MOTOR		60	MIN	1	60	MIN
0060		AJU	2250	M0E			ENTREGA DO EQUIPAMENTO		0,0	0		0,0	

Anexo IV

Rosto de uma Notificação (NOT)

Nota PM Processar Ir para(G) Suplementos Ambiente(U) Sistema Ajuda

Exibir nota PM: Nota de avaria

Nota M2 Reparação do compressor.

Status MSEN MSIM ORDA

Ordem

Nota Disponib.instalação Avaria. parada Dados de localização Síntese de datas Itens Maneira de detecção

Responsabilidades

Grp.plnj.PM /

Especialidad DINA / Dinâmicos

Usuário respons

Notificador Data da nota

Datas-base

Início desejado 00:00:00 Prioridade Ex. imediata

Concl.desejada 00:00:00 Parada

Objeto de referência

Loc.instalação

Equipamento

Conjunto

Item

Parte objeto I-COMVEN COSF Compressor_Selagem do Veio (Vedantes)

Sintom.dano I-COMVEN BRDW Avaria impedindo o funcionamento

Texto

Cód.causa

Texto da causa

Entrada 1 de 1

Anexo V

Rosto de OT

Exibir Correctivo : cabeçalho central

Ordem CORR [] Reparação do compressor []

Reparação do compressor

Statist. LIB CNPA CAPC DNAT ERRD IMPA MOME Mat [] FINA

DdsCabeç. | **Operações** | **Componentes** | **Custos** | **Objetos** | **Dados adic.** | **Localiz.** | **Planej.** | **Controle** | **Ampliação**

Responsáveis

Gr.planej. [] / [] []

CenTrabRes **DINA** / [] Dinâmicos

Nota 1886303 []

Custos 0,00 EUR

TipoAtMn **ORD** Ordinário

CondInst []

Datas

InícioBase [] Prioridade **Ex. imediata** []

Fim-base [] Revisão []

Objeto de referência

LoInstal. [] []

Equipam. [] []

Conjunto [] []

1ª operação

Operação Reparação do compressor. ChCál [] Calcular duração []

CtrTr/Ctro **AJU** / [] ChvContr M0E Tp.ativ. **M10180** [] MAP

Trb.empr. 8,0 H Número 2 Dur.Oper. 4,0 H [] Cmp

Nº pessoal 0 []

Anexo VI

Fase para execução

LE

Ordem Processar Ir para(G) Suplementos Ambiente(U) Sistema Ajuda

Exibir Correctivo síntese de operações

Ordem CORR parou por aquecimento

Stat.sist. ENTE CNPA CAPC ERRO IMPA MATF MOME NOLI FINA PREP

DdsCabec. Operações Componentes Custos Objetos Dados adic. Localiz. Planej. Controle Ampliaç

Oper	SOp	Ejec	Ce	Ch	ChvMo	C	Txt.breve operação	TD	Trab.	Un	Nú	Dura	Un	CdCál
0010	AJU	2250	M0E				Consignação do equipamento		0,5H	1		0,5H		Calcular
0020	IPD	2250	M0E				Medir vibrações		1,0H	1		1,0H		Calcular
0030	AJU	2250	M0E				Inspeccionar compressor		4,0H	2		2,0H		Calcular
0040	AJU	2250	M0E				Desconsignação do equipamento		0,5H	1		0,5H		Calcular
0050	OMQ	2250	M0E				Normalizar tampas do compressor.		26,0H	1		26,0H		Calcular
0060	TEC	2250	EXTE				Equilibragem dinâmica de dois rotores.		0,0H	1		0,0H		Calcular
0070	TEC	2250	EXTE				Beneficiação de três veios.		0,0H	1		0,0H		Calcular
0080	TEC	2250	EXTE				Beneficiação de duas tampas.		0,0H	1		0,0H		Calcular
0090	TEC	2250	EXTE				Beneficiação de dois rotores.		0,0H	1		0,0H		Calcular
0100	AJU	2250	M0E				Reparação do compressor		80,0H	2		40,0H		Calcular
0110	AJU	2250	M0E				Consignação do equipamento		0,5H	1		0,5H		Calcular
0120	AJU	2250	M0E				Montar o compressor no local		16,0H	2		8,0H		Calcular
0130	AJU	2250	M0E				Alinhar e acoplar compressor		4,0H	2		2,0H		Calcular
0140	AJU	2250	M0E				Desisolamento processual		2,0H	2		1,0H		Calcular
0150	AJU	2250	M0E				Desconsignação do equipamento		0,5H	1		0,5H		Calcular
0160	IPD	2250	M0E				Medir vibrações		1,0H	1		1,0H		Calcular
0170	OMQ	2250	M0E				TRABALHO DE MAQUI.FERRA.		20,0H	1		20,0H		Calcular
0180	TEC	2250	EXTE				Desempenar uma tampa afundar canal p/o'r		0,0H	0		0,0H		Calcular

Ordem Processar Ir para(G) Suplementos Ambiente(U) Sistema Ajuda

Exibir Correctivo **síntese de operações**

Ordem: CORR Reparação do compressor

Reparação do compressor

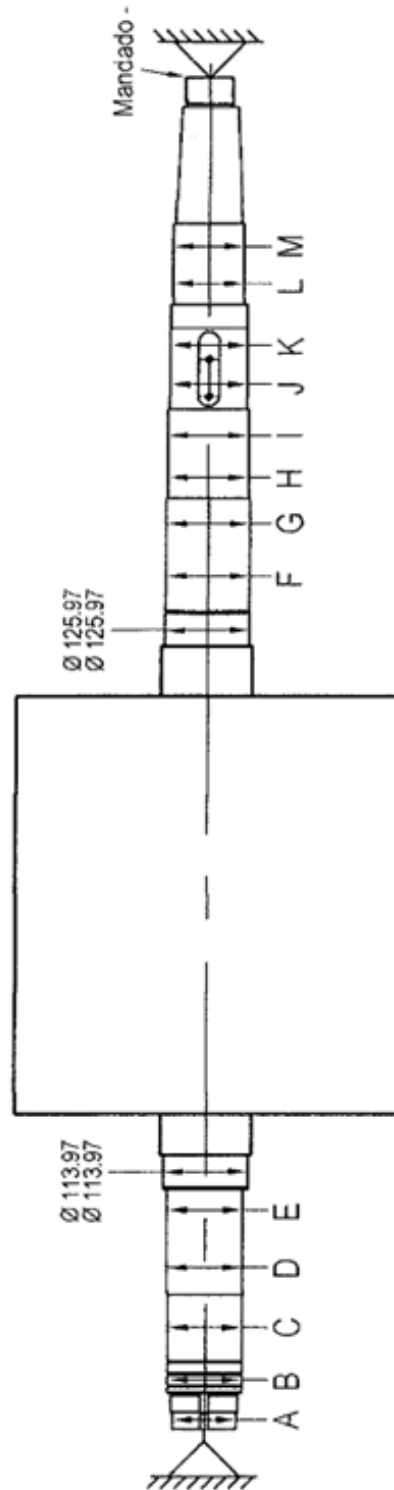
Stat.sist. LIB CNPA CAPC DNAT ERRD IMPA MOME Mat. FINA

DdsCabeç. Operações Componentes Custos Objetos Dados adic. Localiz. Planej. Controle

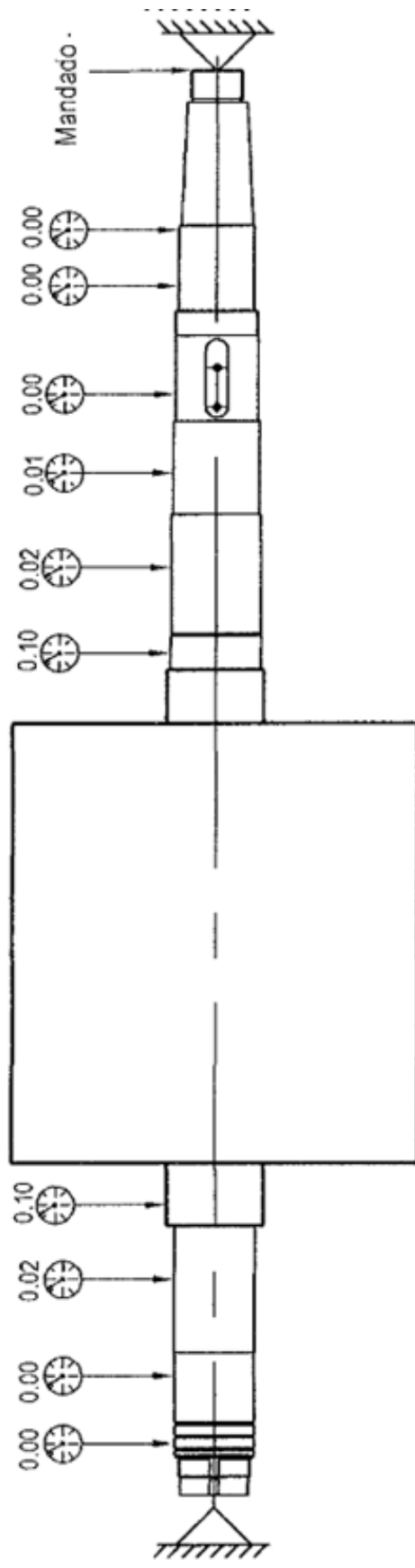
Oper	SOp	Ejec	Ce	Ch	ChvMo	C	Txt.breve operação	TD	Trab.	Un	Nú	Dura	Un
0010		AJU	2250	M0E			Reparação do compressor.		8,0H	2		4,0H	
0020		OMQ	2250	M0E			Fab. Labirintos		40,0H	1		40,0H	
0030		OMQ	2250	EXTE			Rectificação do alojamento das tampas		20,0H	1		20,0H	
0040		OMQ	2250	M0E			Fab. duas cavilhas cónicas		4,0H	1		4,0H	
0050		OMQ	2250	EXTE			Rectificação do corpo do compressor.		0,0H	1		0,0H	
0060		TEC	2250	EXTE			Equilibragem dinâmica de dois veios com		0,0H	1		0,0H	
0070		OMQ	2250	EXTE			Execução de veio e equilibragem dinâmica		0,0H	0		0,0H	

Anexo VII

Veio mandado

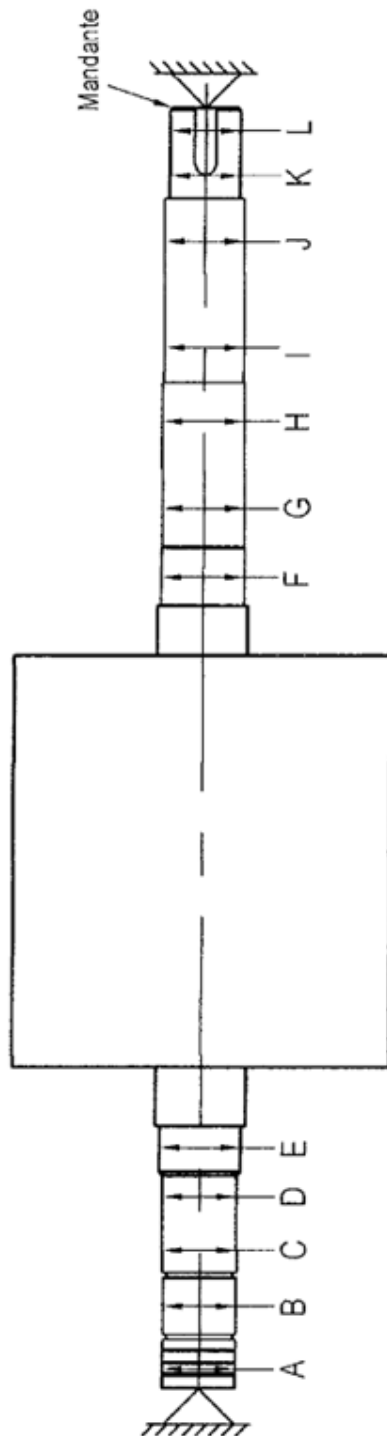


POS.	A	B	C	D	E	F	G	H	I
0°	95.00	110.03	110.03	111.99	112.00	123.98	123.98	120.02	120.02
90°	95.00	110.03	110.03	111.99	111.99	123.98	123.98	120.02	120.02
ORG									
POS.	J	K	L	M					
0°	115.02	115.02	105.01	105.01					
90°	115.02	115.02	105.01	105.01					
ORG									

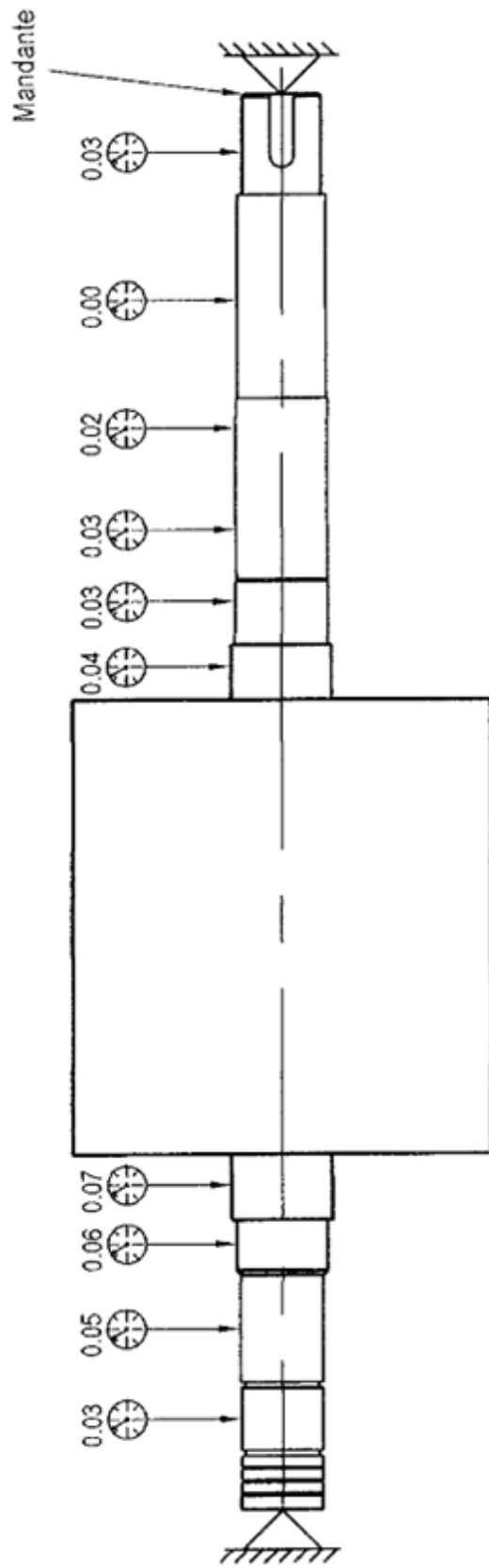


Anexo VIII

Veio mandate

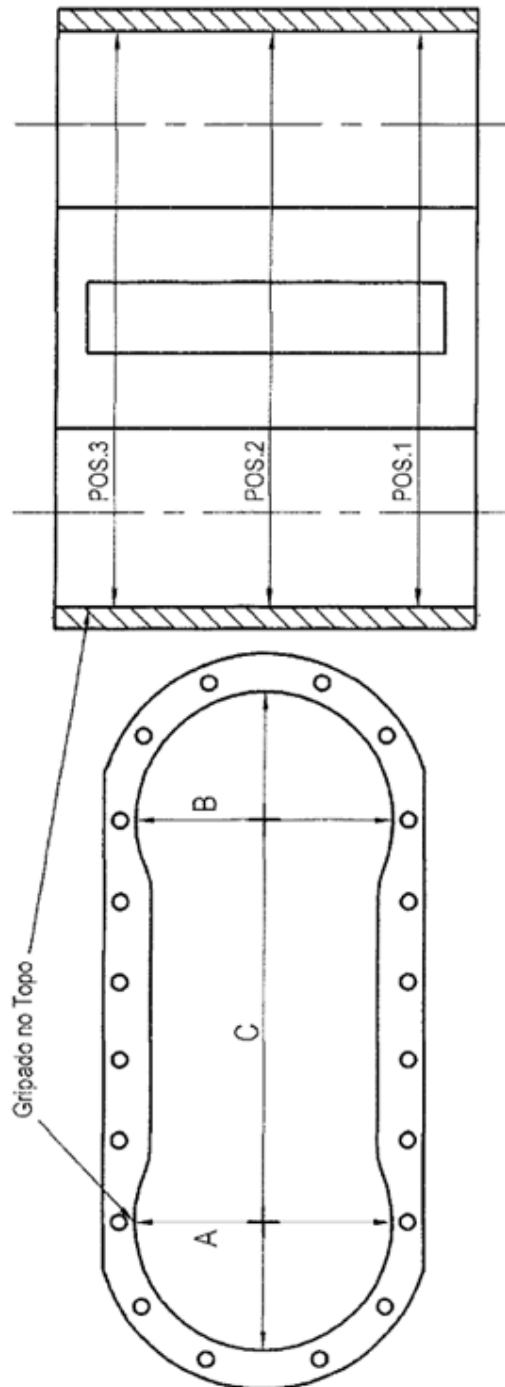


POS.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0°	110.02	110.02	111.99	111.99	113.97	125.96	123.97	123.95	120.01	120.01
90°	110.02	110.02	111.99	111.99	113.97	125.96	123.97	123.96	120.01	120.01
ORG.										
POS.	K	L								
0°	115.02	115.02								
90°	115.02	115.02								
ORG.										

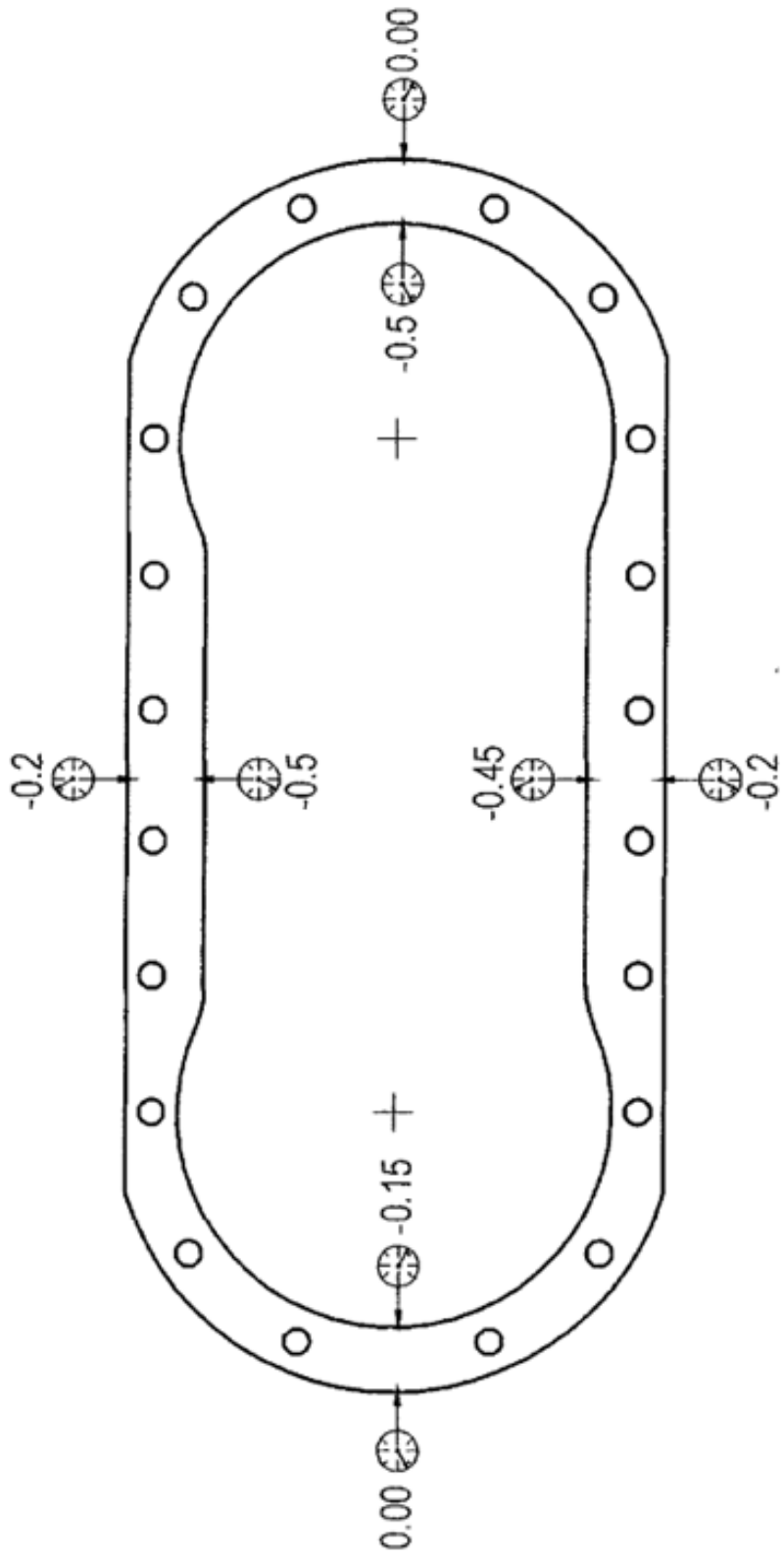


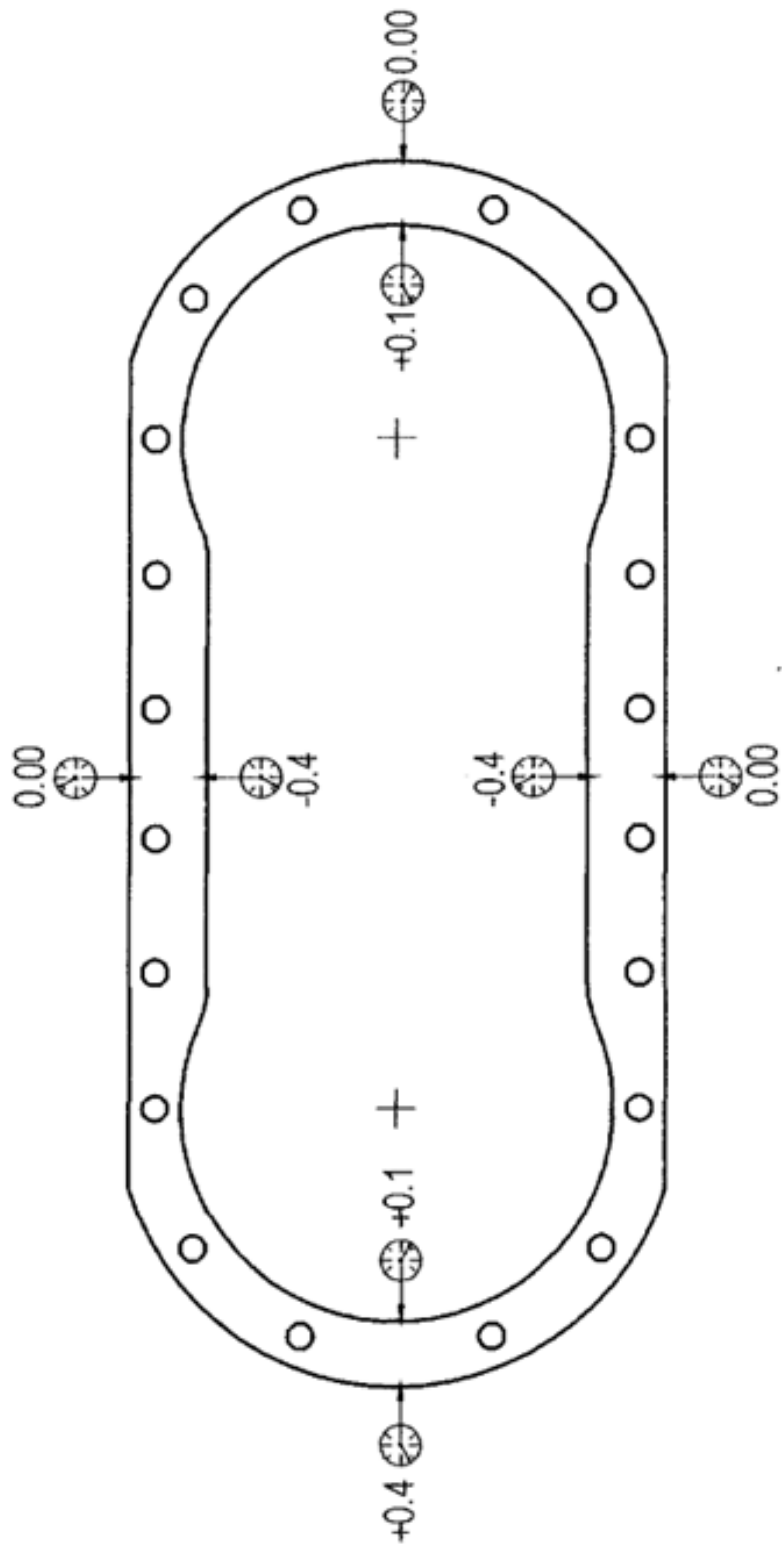
Anexo IX

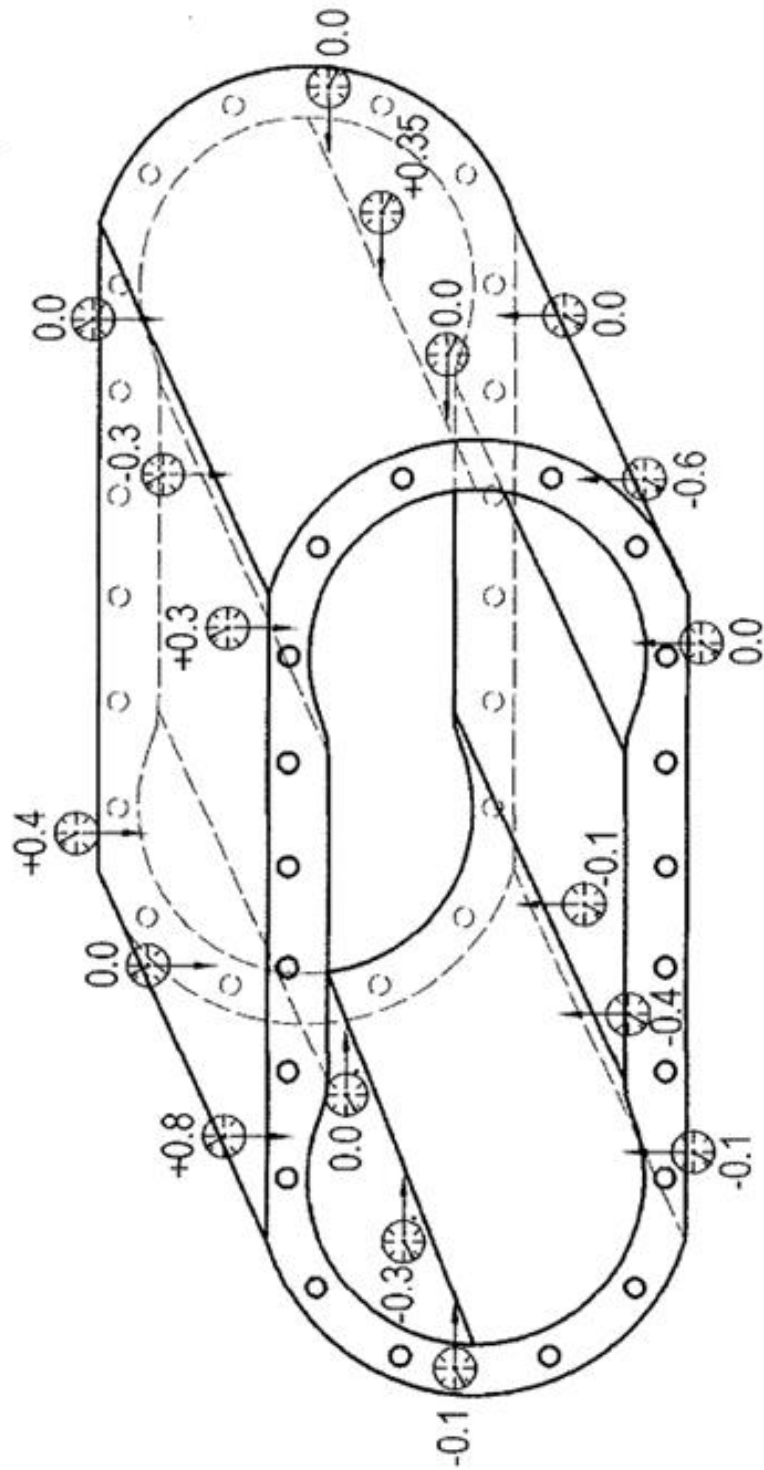
Corpo - Estator



	\emptyset	A	B	C
POS.1	0°	510.56	511.08	650.26
	90°			
POS.2	0°	511.06	511.35	849.96
	90°			
POS.3	0°	510.82	510.61	650.34
	90°			
ORG.				

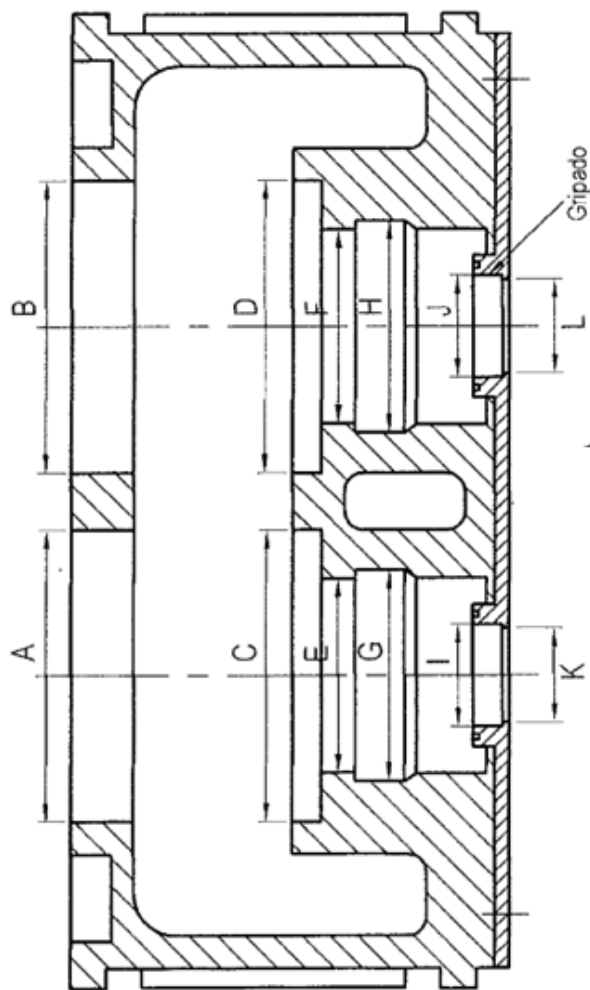




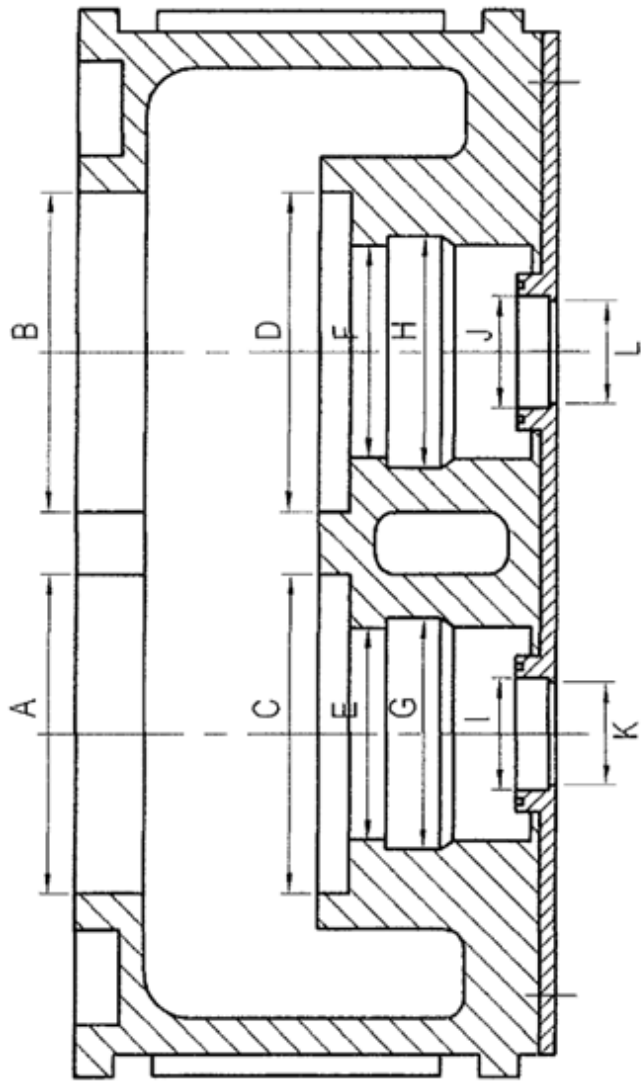


Anexo X

Tampa



Ø	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0°	315.06	315.06	281.93	281.94	220.03	220.00	225.37	225.38	150.40	150.32	148.01	148.00
90°	315.03	315.03	282.21	282.17	219.98	219.97	225.37	225.35	150.42	150.35	148.01	148.00
ORG.												



Ø	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0°	315.09	315.10	282.08	282.03	219.97	219.95	225.19	225.18	150.26	150.28	148.04	148.04
90°	315.02	315.07	282.20	282.16	219.99	220.00	225.22	225.20	150.28	150.30	148.03	148.03
ORG.												

Manutenção Centrada na Fiabilidade - CRM

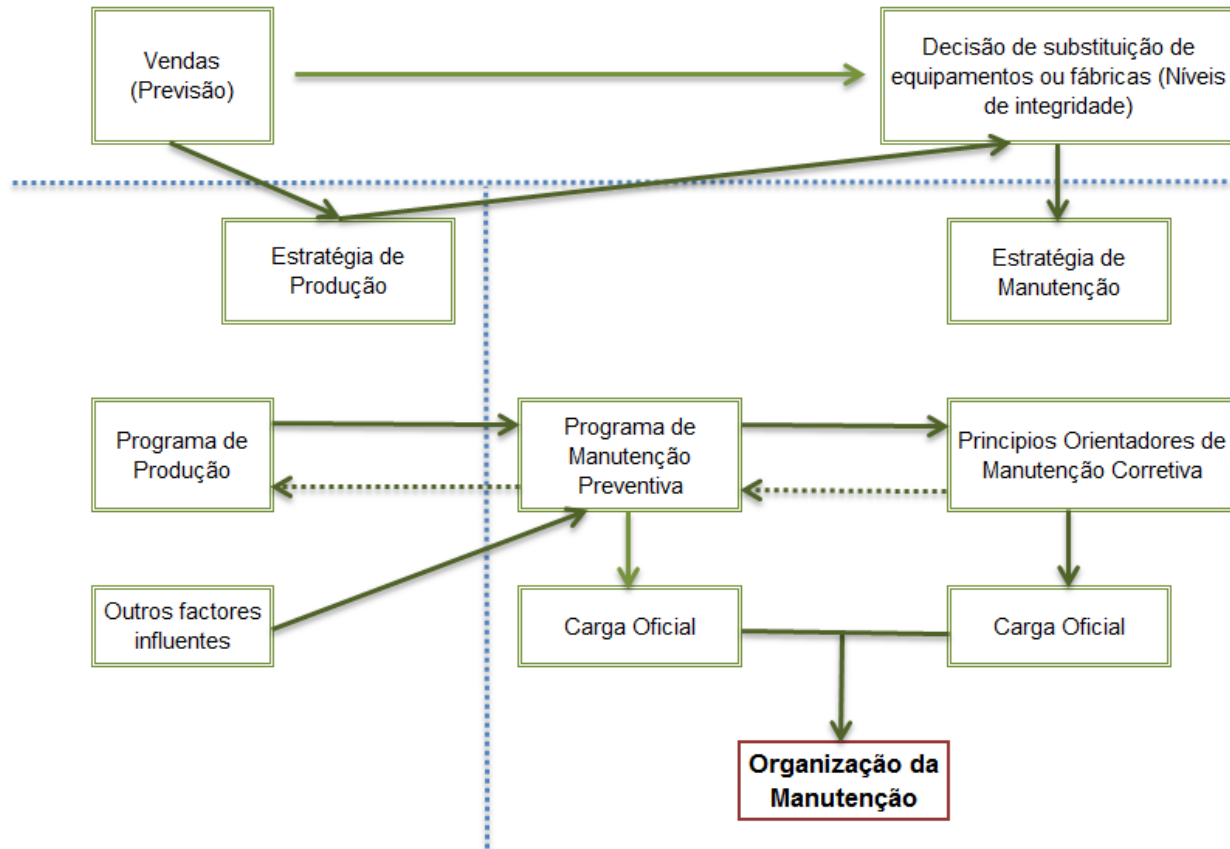
Manutenção de Equipamentos

Objectivos

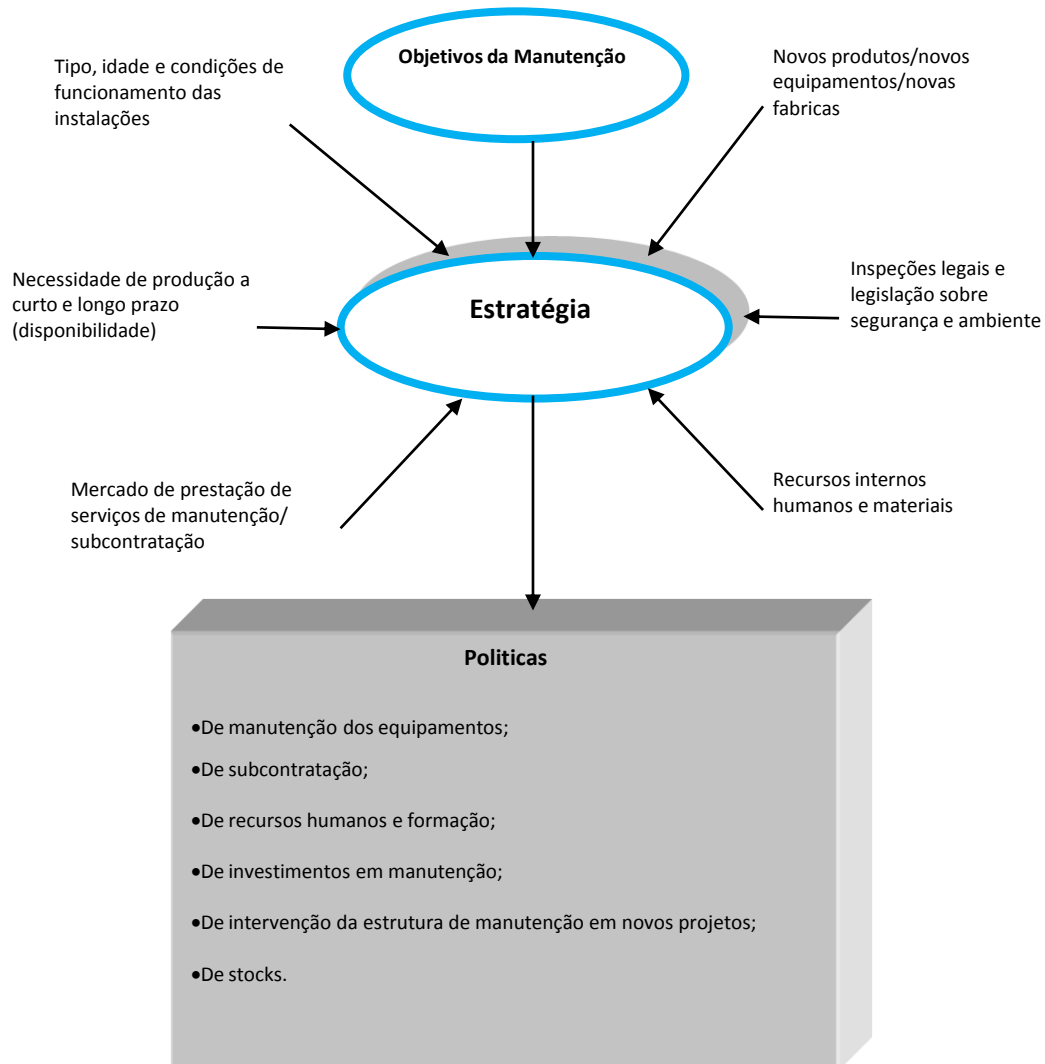
Objectivo geral: Este trabalho visa centralizar a manutenção na fiabilidade.

Objectivo específico: Procedimentos a seguir para reparação de equipamentos no dia-a-dia de uma empresa.

Estratégia da Empresa, da Produção e da Manutenção



Fatores internos e externos que influenciam a estratégia da manutenção



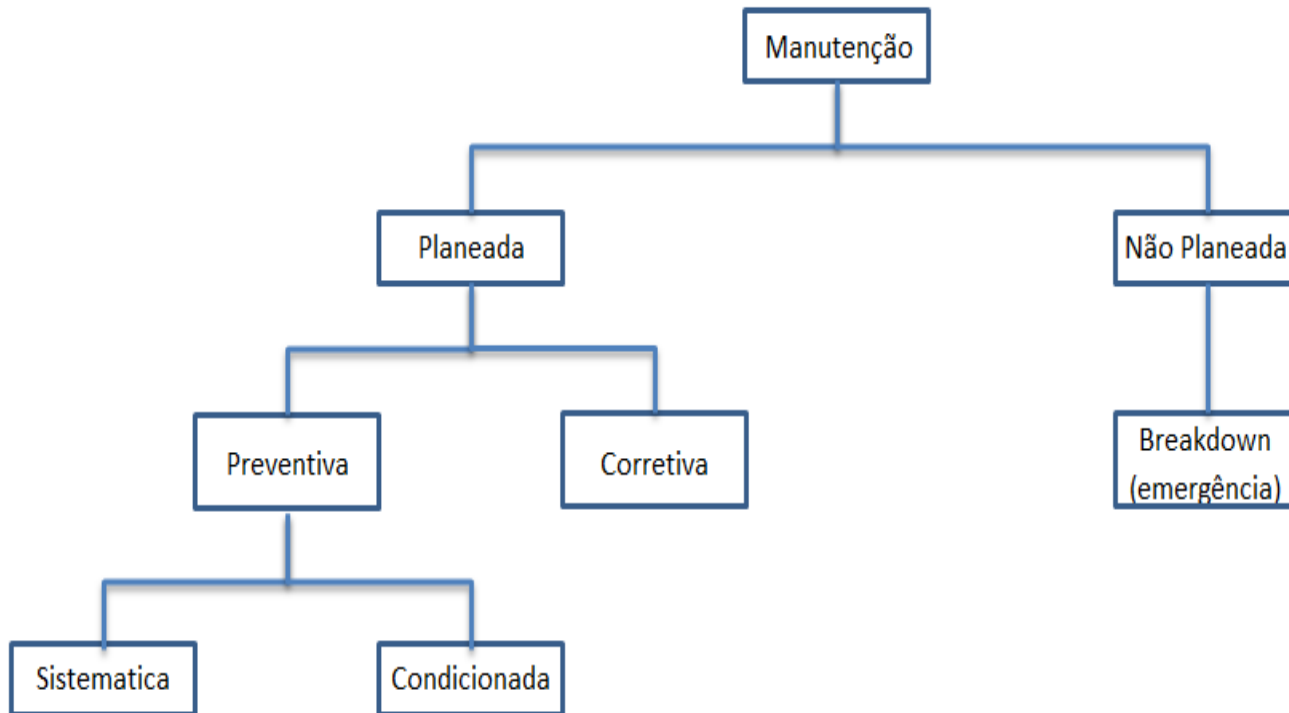
Definições/ Conceitos

Manutenção: Pinto (1994) define a função da manutenção como “ ***um conjunto integrado de atividades que se desenvolve em todo o ciclo de vida de um equipamento, sistema ou instalação e que visa manter ou repor a sua operacionalidade nas melhores condições de qualidade, custo e disponibilidade, com total segurança***”

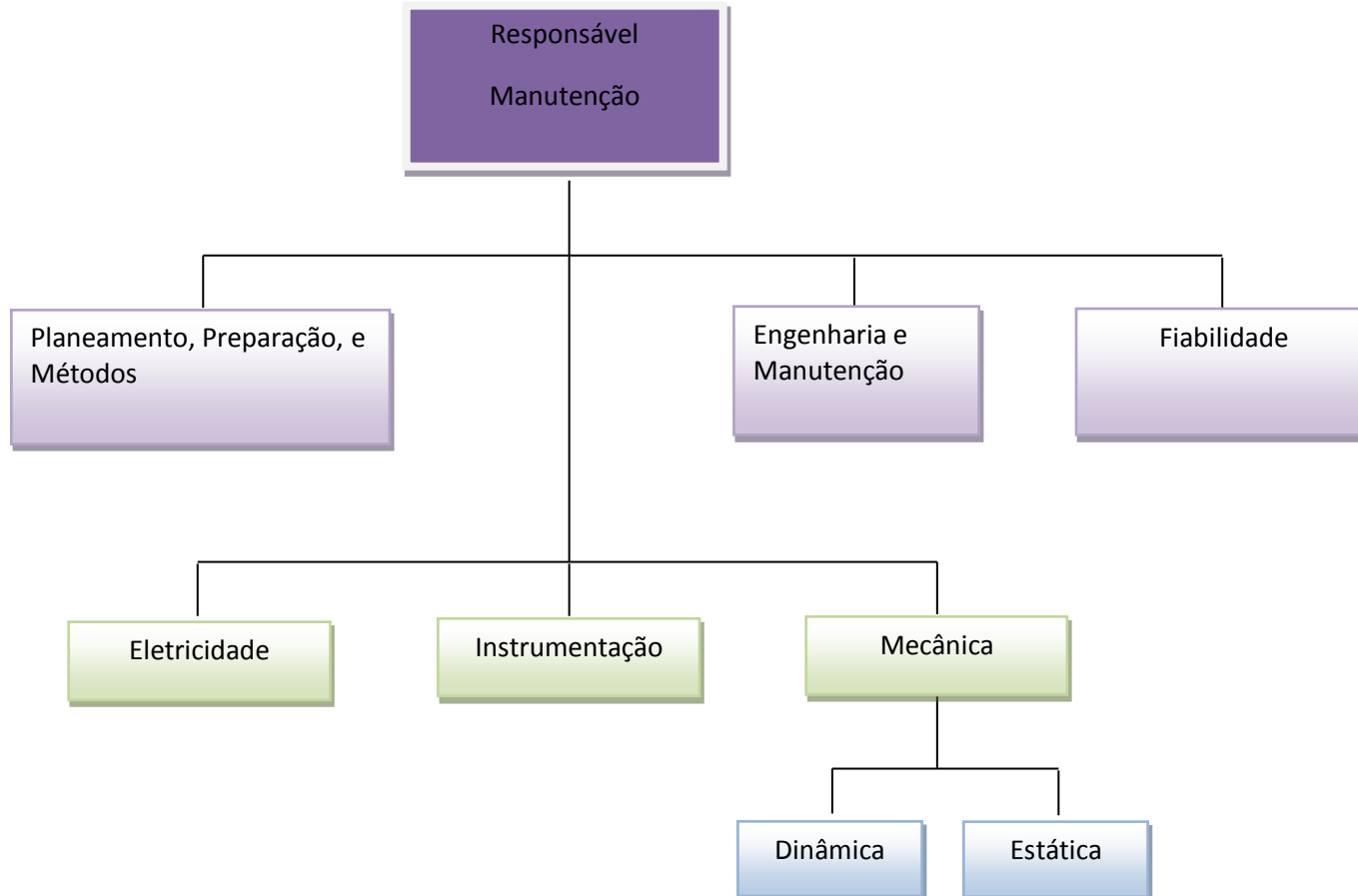
Fiabilidade: A norma Francesa AFNOR (1998) define a Fiabilidade como a “***probabilidade de um equipamento, sistema órgão ou componente cumprir a função pretendida, em condições de utilização e por um determinado período de tempo***”.

Reliability Centered Maintenance (RCM): É definido por Nowlan et al (2007) como “***o método utilizado para determinar o tipo de metodologia de manutenção mais efetivo para o tratamento de falhas potenciais.***”

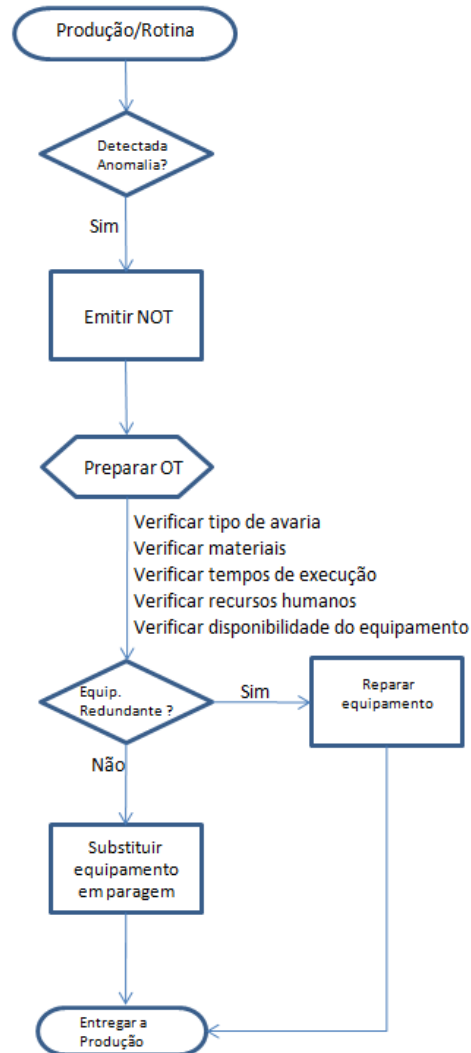
Tipos de Manutenção



Organização da Manutenção



Fluxograma de preparação/ reparação



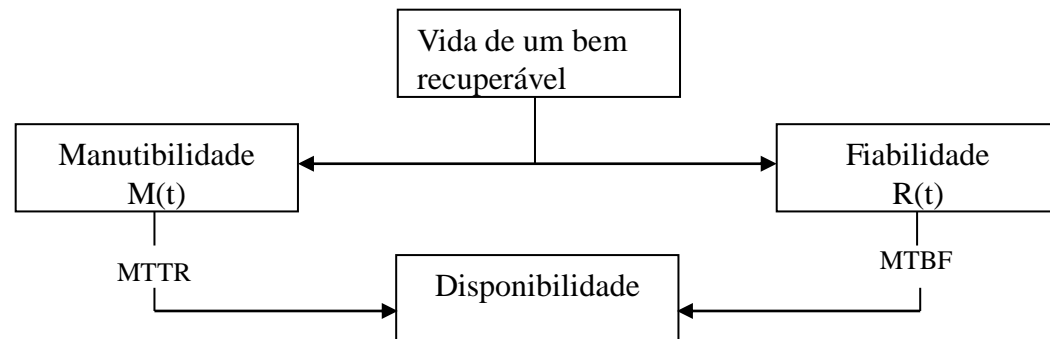
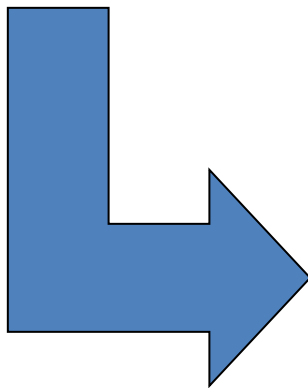
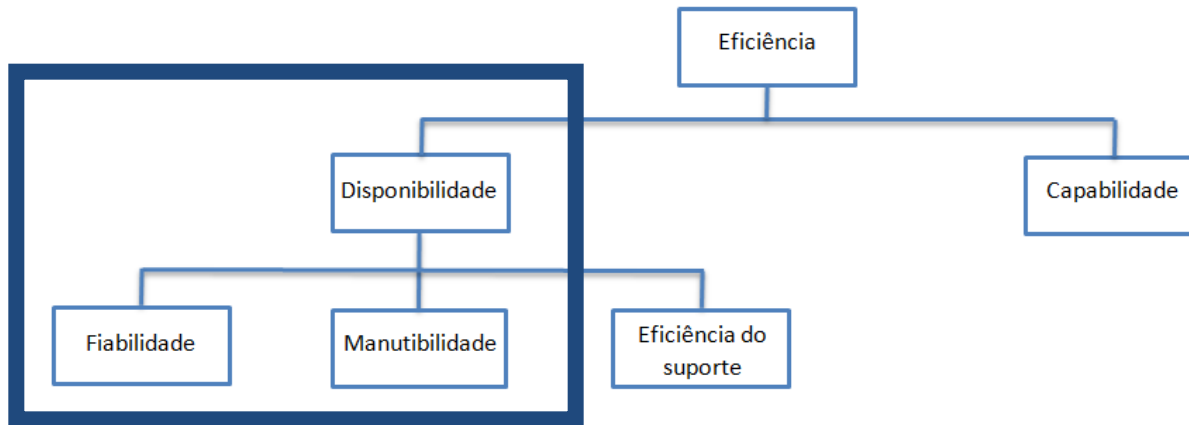
Custos agregados a Manutenção



Iceberg de custos [10]

Segundo Cabral (1998, pp.47) o iceberg de custos representa os custos verdadeiros de manutenção, sendo que a zona submersa (4 vezes maior) representa todos os custos difíceis de quantificar (custos indiretos), por sua vez os custos contabilísticos (custos diretos) encontram-se na ponta visível.

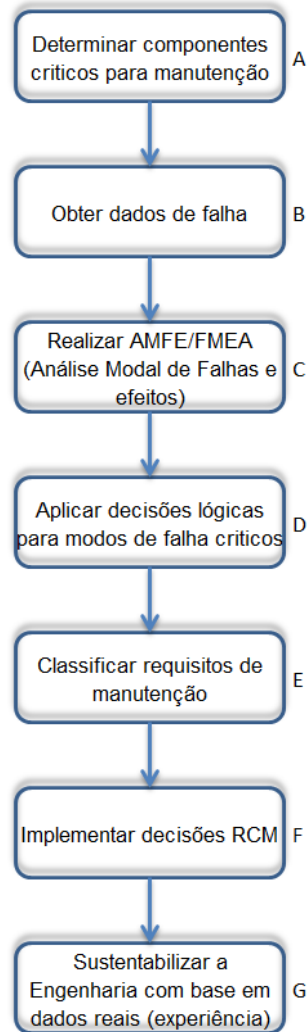
Relação entre fiabilidade, manutibilidade e disponibilidade



Princípios RCM

Princípio	Conceito
Orientado para a função	Procura preservar a função do sistema ou do equipamento, não apenas a operabilidade
Focado no sistema	Tem como objetivo a funcionalidade do sistema
Centrado na Fiabilidade	Procura conhecer as probabilidades de falha em períodos específicos da vida dos componentes
Condicionado ao projeto	Tem como objetivo manter a fiabilidade inerente ao projeto atual do equipamento ou sistema.
Dirigido para segurança e economia	A segurança deve ser assegurada a qualquer custo, mesmo que implique alteração do projeto.
Orientado para tratamento de qualquer situação insatisfatória	Considera como falha a perda de função de um equipamento ou de não conformidade do processo.
Baseado em três tipos de trabalho de manutenção	Combina ações de manutenção baseada em intervalos de tempo, ações baseadas em condições, e ações na pro-atividade ou falhas ocultas. Utiliza ações corretivas para determinados tipos de equipamentos
É uma metodologia contínua	Deve ter uma aplicação contínua, de maneira a analisar os resultados para melhoria de novos projetos e da sistemática de manutenção

Passos base no processo RCM



Objectivo particular do trabalho

Uma das maneiras de rentabilizar as atividades nas empresas é a Manutenção, pois é através desta que é possível melhorar as condições de funcionamento dos equipamentos, e por conseguinte acrescentar valor aos seus serviços e produtos.

A Manutenção por si só não é suficiente, pois é necessário determinar quais as ações indicadas para cada componente. Neste contexto uma das estratégias a utilizar é a Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM), pois o processo de desenvolvimento do RCM envolve a identificação de ações que quando executadas irão reduzir a probabilidade de falha num determinado equipamento, bem como os seus custos de manutenção.

Este trabalho visa integrar todas essas estratégias na manutenção de equipamentos no dia-a-dia de uma instalação; para tal é apresentado em seguida um caso prático de reparação de um compressor de lóbulos.

Tipo de compressores

Volumétricos	Alternativos	
	Rotativos	<i>Palhetas</i>
		<i>Parafusos</i>
		<i>Lóbulos</i>
Dinâmicos	Centrífugos	
	Axiais	

Classificação de Compressores [16]

Este tipo de compressor possui dois rotores que giram em sentido contrário, mantendo uma folga muito pequena no ponto de tangência entre si e o corpo. O gás entra pela aspiração, ocupando a câmara de compressão, e por fim é conduzido a tubagem pelos rotores. Embora este tipo de compressor seja classificado como volumétrico, devido aos rotores deslocarem apenas o fluido de uma região de baixa pressão para uma de alta não possuem compressão interna.

Análise aos componentes

Controlo	Veios	Rotor mandante (ver anexo VII)	Rotor mandado (ver anexo VIII)
Visual		Em bom estado	Ligeira gripagem num dos topos e no diâmetro externo do rotor.
Líquidos Penetrantes	Não foram detetadas quaisquer fissuras		
Geométricas as faces do rotor		Encontrado um desvio resultante do empeno do veio	Encontrado um desvio resultante do empeno do veio e gripagem que o rotor apresenta
Dimensional moente dos rolamentos		Em consonância com a especificação	Em consonância com a especificação
Observações	Sem necessidade de desmontar os veios dos rotores.	Apesar de se verificar um empeno, estas não são relevantes tendo e conta as folgas em jogo.	Leituras do empeno do veio significativas, a avaliar durante a montagem

Análise ao corpo do equipamento

Tampas + Placas (ver anexo IX)	Estator (ver anexo X)
Os valores lidos nos furos/ alojamentos de ambas as tampas variam entre si, mas estão dentro das tolerâncias	O exterior apresenta sinais evidentes das gripagens ocorridas no seu interior
Valores de empeno nas faces interiores das tampas - nas placas - fora de especificação.	As faces não estão paralelas, apresentado um desvio
	O interior apresenta deformação, mas não é relevante.

Reparação efectuada

Após a análise inicial conclui-se que a reparação a efetuar seria:

- Recuperação das zonas gripadas com enchimento por soldadura;
- Maquinação de ambos os topos dos rotores eliminando erros de geometria, garantido que o comprimento é igual;
 - Verificação e eventual correção do perfil exterior dos lóbulos, garantido o seu paralelismo;
 - Equilibragem dinamicamente de ambos os rotores;
 - Retificação das faces interiores das tampas;
 - Maquinação da base das tampas (sapatas), de maneira a garantir igual cota ao centro;
 - Maquinação das faces do estator para garantir paralelismo;
 - Efetuou-se um polimento com ferramentas abrasivas manuais ao interior do estator;
 - Equilibragem do conjunto veio e acoplamento.
- Alinhamento dos furos das cavilhas-guia entre as tampas e o estator.

Conclusões

Com a atual conjuntura surgem novos processos como o TPM e o RCM, com a intenção de acrescentar valor aos produtos e assim aumentar a competitividade entre empresas. Normalmente estas recorrem aos recursos internos quer sejam humanos, materiais ou financeiros, contudo necessitam de estar munidos de uma base de dados completa, para analisar a fiabilidade dos equipamentos e prevenir futuros obstáculos na produtividade.

No caso pratico apresentado a disponibilidade do equipamento depende da reparação efetuada e das rotinas a ele associadas, de salientar que esta em curso um estudo para aquisição de um novo equipamento, pois este após análise verificou-se que não é possível garantir a sua fiabilidade devido a algumas folgas entre o rotor e o interior do estator.

Neste trabalho foram apresentados conceitos que por si só não são considerados importantes, mas ao serem integrados entre eles conseguem resolver situações complexas e por conseguinte aumentar a disponibilidade dos equipamentos.