



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica



Análise e Implementação de uma Ferramenta Para a Gestão de Activos Físicos num Terminal Petrolífero

JOÃO SOBRAL GOMES PONTES ALEXANDRE

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais: Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas
Doutor José Augusto da Silva Sobral

Dezembro de 2017



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica

Análise e Implementação de uma Ferramenta Para a Gestão de Activos Físicos num Terminal Petrolífero

JOÃO SOBRAL GOMES PONTES ALEXANDRE
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais: Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas
Doutor José Augusto da Silva Sobral

Dezembro de 2017

Agradecimentos

Aos meus pais, irmão, namorada e amigos.

Lista de Siglas e Acrónimos

- ALARP – *As Low As Reasonably Practicable* (Tão Baixo Quanto Razoavelmente Possível)
- API – *American Petroleum Institute* (Instituto Americano do Petróleo)
- CMMS – *Computerized Maintenance Management System* (Sistema Informático de Gestão da Manutenção)
- COF – *Consequence of Failure* (Consequência da Falha)
- EAM – *Enterprise Asset Management* (Sistema Informático para Gestão de Activos)
- ERP – *Enterprise Resource Planning* (Sistema Informático Integrado para Gestão Corporativa)
- ESP – Equipamento Sob Pressão
- FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis* (Análise dos Modos e Efeitos de Falha)
- FMECA – *Failure Mode Effects and Critical Analysis* (Análise dos Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade)
- FTA – *Fault Tree Analysis* (Árvore para Análise de Falhas)
- HAZOP – *Hazard and Operability Study* (Estudo para Identificação de Perigos Operacionais)
- HSE – *Health, Safety and Environment* (Saúde, Segurança e Ambiente)
- KPI's – *Key Performance Indicators* (Indicadores de Desempenho)
- MDT – *Mean Down Time* (Tempo Médio de Indisponibilidade)
- MF – *Main Function* (Função Principal)
- MTBF – *Mean Time Between Failures* (Tempo Médio entre Avarias)
- MTBM – *Mean Time Between Maintenance* (Tempo Médio entre Manutenções)
- MTTF – *Mean Time To Failure* (Tempo Médio para Avariar)
- MTTR – *Mean Time to Repair* (Tempo Médio de Reparação)
- NDT – *Non Destructive Tests* (Ensaio Não Destrutivo)
- OI – Organismo de Inspeção
- OT – Ordem de Trabalho
- P&ID – *Piping and Instrumentation Diagram and Drawing* (Diagramas/Desenhos de Tubagens e Instrumentação)
- POF – *Probability of Failure* (Probabilidade de Falha)
- PSV – *Pressure Safety Valve* (Válvula de Alívio de Pressão)
- RBIM – *Risk Based Inspection and Maintenance* (Manutenção e Inspeção Baseada no Risco)
- RBM – *Risk Based Maintenance* (Manutenção Baseada no Risco)
- RCM – *Reliability-Centered Maintenance* (Manutenção Centrada na Fiabilidade)
- ROI – *Return On Investment* (Retorno do Investimento)
- RPN – *Risk Priority Number* (Número/Quantificação de Critério de Risco)
- SGA – Sistema de Gestão Ambiental

SGSPAG – Sistema de Gestão de Segurança e Prevenção de Acidentes Graves

SGSST – Sistema de Gestão Saúde e Segurança no Trabalho

SQMA – Segurança, Qualidade e Meio Ambiente

SSA – Saúde, Segurança e Ambiente

TTR – *Time to Repair* (Tempo para Reparação)

Resumo

O panorama da economia mundial mudou, forçado pela “crise”, pressionado pela globalização com entrada de novos *players* ou moldada pelo rápido desenvolvimento tecnológico ligados à era digital dos dias de hoje. Mudam-se as formas de pensar, os paradigmas ou mesmo a forma de viver o que consequentemente altera a forma como as empresas são geridas. Nenhum sector económico está imune a estas mudanças e no caso específico do sector petrolífero, tem vindo também a adaptar-se, seja por pressão do baixo preço do barril ou pelas consequências de graves desastres passados, que impõem regras cada vez mais exigentes ao nível de segurança e ambiente. A adaptação neste sector impõe uma série de alterações que procuram essencialmente melhorar o negócio com a premissa clássica da redução dos custos operacionais, aumento da eficiência mas em simultâneo, garantir níveis de segurança ocupacionais e ambientais elevados.

A função da Manutenção torna-se primordial para o cumprimento destes objectivos, não só pela sua relação directa com a operacionalidade e eficiência de um determinado parque de activos, mas também pela garantia que as actividades inerentes a esta são feitas ao melhor custo e com níveis de segurança conhecidos. O cruzamento do factor económico e segurança com a componente técnica, obriga que a gestão da Manutenção tenha capacidade de integrar e gerir uma série de responsabilidades, garantindo assim o nível de eficiência pretendida de forma eficaz.

Este trabalho foca-se em desenvolver uma série de temas chave para uma estrutura integrada que possibilite uma Gestão da Manutenção que abrace o leque disperso de responsabilidades para a posterior melhoria desta função, no âmbito das Instalações de Armazenagem de Produtos Petrolíferos. Segue uma directriz que passa pela definição de uma estratégia e objectivos que orientem a gestão contextualizada com este tipo de instalações, implementação de um CMMS como ferramenta essencial para suporte de informação e rastreio de actividades, utilização de indicadores de desempenho para suportar decisões e introdução do factor risco para a gestão da Manutenção com base na criticidade. Este último, a gestão baseada no risco, acaba por ser a forma escolhida para viabilizar e sistematizar a melhoria da Manutenção deste tipo de instalações.

Palavras chave: Manutenção, Integração, Manutenção Baseada no Risco.

Abstract

The scope of the world economy has been forced by the "crisis", pressured by the globalization with the entrance of new players or shaped by the rapid technological development connected to the digital age of the present day. They change the ways of thinking, the paradigms or even the way of living which consequently changes the way companies are managed. No sector is immune to these changes and in the case of the oil sector, which is often considered as very traditional, it has also been adapted either by pressure from the low price of the barrel or from the consequences of past severe disasters that impose hard rules to Safety and Environment. The adaptation in this area imposes a series of changes that seek essentially to optimize the business with the classic basis of reducing operating costs, with increasing efficiency but at the same time, guarantee high levels of occupational and environmental safety.

The Maintenance function becomes an important pillar for the achievement of these objectives, not only for its direct relation with the operational and efficiency levels of a certain asset base, but also for the guarantee that the activities inherent to it are done with cost and operational optimization and levels of security within defined levels. Balancing the economic between safety factor and the technical component requires maintenance management to be able to integrate and manage a range of responsibilities by ensuring the desired level of efficiency.

This work focuses on developing a series of key themes for an integrated structure that enables Maintenance Management to embrace the dispersed range of responsibilities for the subsequent improvement of this Maintenance function within the scope of Oil Tank Storage Facilities. It follows a guideline that goes through the definition of a strategy and objectives that guide the management contextualized with this type of facilities, implementation of a CMMS as essential pillar for information support and activity tracking, use of performance indicators to support decisions and introduction of the Risk factor for maintenance management based on criticality. The latter, risk-based management, turns out to be the chosen way to make feasible and systematize the optimization of the maintenance of this type of facilities.

Keywords: Maintenance, Integration, Risk-Based Maintenance.

ÍNDICE

1.	Introdução	1
1.1.	Enquadramento	1
1.2.	Motivação	4
1.2.1.	Necessidades de Estratégia na Manutenção	5
1.2.2.	Integração e Gestão da Informação como pilar da estratégia	6
1.2.3.	Implementação de um CMMS e Monitorização de Desempenho	6
1.2.4.	Modelo para Melhoria da Gestão da Manutenção – Manutenção Baseado no Risco.....	9
1.3.	Objectivos	11
1.4.	Estrutura do Trabalho	12
2.	Definição de Estratégia – Integração Sistemas S.S.A.	14
2.1.	Desenvolvimento de uma estratégia para a Manutenção e sua melhoria	14
2.2.	Integração - Conceito base para estratégia de Manutenção.....	17
2.2.1.	Integração de Recursos	18
2.2.1.1.	Políticas para Recursos Materiais.	19
2.2.1.2.	Políticas para Recursos Tecnológicos e Documentais	19
2.2.1.3.	Políticas para Recursos Organizacionais/Humanos	20
2.2.2.	Integração da Informação.....	21
2.3.	Estratégia e Objectivos para a Manutenção – Resposta às políticas de SSA	21
3.	Implementação de um CMMS e Monitorização de Desempenho.....	28
3.1.	CMMS – Recurso Fundamental da Melhoria	28
3.1.1.	Retorno do Investimento- Justificar a Implementação.....	31
3.2.	Implementação do CMMS – Preparação, Selecção e Implementação	32
3.2.1.	Preparação – Análise e Definição dos Processos e Fluxos da Manutenção	34
3.2.1.1.	Fluxo Manutenção Sistemática	36
3.2.2.	Análise de Requisitos e Funções.....	40
3.2.2.1.	CMMS, ERP ou EAM	40
3.2.2.2.	Requisitos e Funções.....	41
3.2.3.	Seleção da Solução e Processo de Implementação.....	43
3.2.4.	Criação da Estrutura Hierárquica e Funcional	44
3.2.5.	Implementação, Configuração e Transição	46
3.2.6.	Factores Condicionantes à Implementação	48
3.3.	Medição de Desempenho da Manutenção.....	50
3.3.1.	Definição do modelo.....	53
3.3.2.	Indicadores Para o Processo de Manutenção	55
3.3.3.	Indicadores de Desempenho dos Resultados	56
3.3.3.1.	Fiabilidade dos Equipamentos	57
3.3.3.2.	Indicadores Para a Manutibilidade.....	60
3.3.3.3.	Disponibilidade dos Equipamentos.....	61
4.	Programa de Manutenção	67
4.1.	Modelo de Manutenção - Suporte aos Sistemas Gestão de Segurança	67
4.2.	Manutenção Baseada no Risco	70
4.2.1.	Gestão com base na Criticidade dos Equipamentos	73
4.2.2.	Implementação da Avaliação do Risco na Manutenção.....	74
4.2.2.1.	Análise dos Perigos.....	76
4.2.2.2.	Análise do Risco – Consequências x Probabilidade	77
4.2.2.3.	Avaliação de Risco	80
4.2.3.	Métodos Qualitativos	81
4.3.	Modelo de Manutenção Baseado no Risco para Melhoria.....	83
4.3.1.	Modelo de Manutenção Baseado no Risco para Melhoria segundo a NORSOK Z-008.....	85
4.3.2.	Fase I.....	88
4.3.2.2.	Definição de Sistemas e Subsistemas	89
4.3.2.3.	Definição das Função Requerida (MF) e Sub-Funções.....	91

4.3.2.4.	Definição de Redundâncias.....	93
4.3.2.5.	Critério de Decisão – Avaliação da Criticidade com Base nas Consequências	94
4.3.2.6.	Níveis de Criticidade.....	96
4.3.2.7.	Avaliação da Criticidade nas MF.....	97
4.3.2.8.	Avaliação da Criticidade nas Subfunções	98
4.3.3.	Fase II	100
4.3.3.1.	Utilização procedimentos de Manutenção pré-definidos	102
4.3.3.2.	Análise aos Modos de Falha - FMEA.....	104
4.3.4.	Implementação da Análise FMEA	105
4.3.5.	Gestão da Acção Correctiva.....	110
5.	Conclusões.....	113
	Referências	116

Índice de Figuras

Figura 1 – Definição estratégia para Manutenção.	6
Figura 2 – Integração e Fluxo de Informação na Manutenção.	8
Figura 3 – Manutenção Baseada no Risco.	10
Figura 4 – Campo de acção para a estratégia para a Manutenção.	16
Figura 5 – Factores internos e externos que influenciam a estratégia da Manutenção	16
Figura 6 – Integração num modelo da Manutenção.	18
Figura 7 - Preocupações estratégicas de SSA para acção da Manutenção.	22
Figura 8 – Fluxo de informação na Gestão da Manutenção.	28
Figura 9 – Análise do ROI na implementação de um CMMS	32
Figura 10 - Processo de Implementação de um CMMS	33
Figura 11 – Exemplo do fluxo para a gestão de OT's e associação de recursos.	35
Figura 12 – Esquema para a acção preventiva da Manutenção.	36
Figura 13 - Esquema para a Manutenção correctiva/não planeada.	38
Figura 14 - Funcionalidades mais importantes num CMMS	42
Figura 15 – Pontos Críticos à Implementação de um CMMS	44
Figura 16 - Exemplo de uma estrutura funcional e técnica e ligação entre estas.	45
Figura 17 – Estrutura da medição de desempenho na Manutenção	53
Figura 17 - Avaliação do Risco.	71
Figura 18 – Prioridade com base no risco	73
Figura 19 – Processo avaliação do Risco na RBM.	76
Figura 21 – Processo de Desenvolvimento de uma Estratégia para a Manutenção	86
Figura 22 – Definição de uma estrutura funcional e definição da criticidade	88
Figura 23 – Esquema de exemplo para definição de sistemas e subsistemas.	90
Figura 24 - Exemplo de subfunções numa função principal MF	92
Figura 24 – Redundância das subfunções.	94
Figura 25 – Conceito ALARP.	96
Figura 27 – Processo Avaliação de Risco nas MF e subfunções	97
Figura 28 – Diagrama para definição de um modelo para a gestão da Manutenção com avaliação de risco	101
Figura 29 – Dependências entre componentes nos efeitos da falha.	107
Figura 30 – Forma de análise <i>Bottom-Up</i> ou <i>Top-Down</i> na FMEA.	107
Figura 31 – Processo RBM para a gestão de OT's correctivas.	111

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Temas a contemplar na estrutura de uma estratégia integrada para a Manutenção	17
Tabela 2 – Exemplo Prático, responsabilidade Manutenção na estratégia corporativa de SSA	24
Tabela 3 – Exemplo dos objectivos de um CMMS após a sua implementação.....	29
Tabela 4 – Processo de exemplo implementação do CMMS ManWinWin	47
Tabela 5 – Resumo de alguns indicadores referentes ao processo de Manutenção	56
Tabela 6 – Resumo indicadores associados ao desempenho da Manutenção	66
Tabela 7 – Quadro de algumas normas API referência nos critérios de inspecção e aceitação instalações	69
Tabela 8 – Contribuição dos equipamentos críticos no risco	74
Tabela 9 – Exemplo de índices de severidade para as várias categorias de consequências, adaptado	79
Tabela 10 – Exemplo de categorias para vários níveis de probabilidade	80
Tabela 11 – Tabela de avaliação de Risco.....	82
Tabela 12 – 5 Níveis para definição de sistemas e subsistemas funcionais.....	89
Tabela 13- Exemplos de Principais Funções e Subfunções num terminal de armazenagem.	92
Tabela 14 – Níveis de Redundância segundo a Z-008.....	93
Tabela 15 – Matriz de cruzamento entre redundância e criticidade	94
Tabela 16 – Criticidade para equipamentos.....	96
Tabela 17 – Criticidade para função contenção.....	97
Tabela 18 - Avaliação da Criticidade das Subfunções	99
Tabela 19 – Exemplo de adaptação de práticas de ESP's em equipamentos críticos	103

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Desgaste e avarias são fenómenos incontornáveis da vida de um activo, seja por defeitos de construção ou ocorridos durante a sua utilização normal, que poderão ser acelerados ou reduzidos, comprometendo mais ou menos o nível da sua utilização de acordo com a forma como este é explorado. Assim, pode-se considerar a Manutenção como um elemento chave para garantir a disponibilidade e operacionalidade com um nível de segurança conhecido, e a sua gestão como a procura da melhor relação custo – benefício entre as acções de Manutenção estabelecidas.

Numa economia que cada vez mais procura produtos normalizados e num mercado cada vez mais globalizado, as indústrias procuram, de uma forma transversal, aumentar as suas vantagens competitivas. No actual mercado das petrolíferas, motivado pelos actuais preços baixos do barril de petróleo, introdução de novos *players* e quebras no consumo, as empresas atravessam uma nova fase procurando aumentar – ou pelo menos garantir – os seus lucros, otimizando ao máximo a eficiência da sua cadeia de valor e reduzindo os custos associados a esta. Em suma:

- Uma redução geral nos investimentos e direccionar apenas para a sustentabilidade do negócio;
- Maximizar a performance dos seus activos com especial foco na fiabilidade, garantindo uma operação sem interrupções;
- Disciplina financeira na tomada de decisões e criação de valor a partir da melhoria dos activos existentes sem recurso a investimento.

Actualmente, e muito por influência da conjuntura económica actual, assiste-se a uma mudança de mentalidades em relação à estratégia e aos modos de acção no que diz respeito à função da Manutenção. Por um lado, procuram-se soluções integrantes e formas mais proactivas na sua gestão com capacidade de prever falhas, evitando as consequências das avarias custos associados, e, por outro, procura-se que esta estratégia proactiva seja acompanhada sempre por um espírito económico-financeiro, obrigando a que o gestor ou responsável de Manutenção tenha outras valências para além das técnicas que permitam avaliar e/ou justificar decisões. Esta mentalidade é alimentada, essencialmente, pelo objectivo de maximizar a operacionalidade dos activos ao menor custo possível, sejam estes operacionais ou Manutenção.

A introdução do factor segurança nesta “fórmula” é também muito importante, esta tem vindo a ganhar uma posição de peso indústria em geral e já com uma posição de destaque e consolidada há alguns anos nas indústrias petrolífera, petroquímica e nuclear. Isto fruto da aprendizagem com os erros do passado com consequências brutais e fatalidades. Actualmente, para a gestão de topo

destas empresas, a questão da segurança é tão importante com a parte financeira, pesando tanto o factor segurança como o factor económico. A experiência dos últimos anos no caso particular sector petrolífero, com custos associados aos incumprimentos legais imposto pelos países e das consequências de falhas de equipamentos, “empurrou” a segurança para uma posição de destaque. Na procura de uma eficiente política de gestão dos seus activos, o sector petrolífero começou a focar-se nos sistemas de gestão de segurança, saúde ocupacional e ambiental. Estes oferecem um conjunto de soluções e recomendações para que estas empresas garantam práticas de gestão de elevada precisão e a redução significativa do número de acidentes. É do conhecimento geral que, na maior parte das vezes, os acidentes associados às empresas petrolíferas têm consequências nefastas e brutais, tanto para as pessoas como para o meio ambiente, com custos elevadíssimos e efeitos negativos na imagem da empresa, e, muitas das vezes, irreparáveis.

O campo da segurança é composto por três pilares que, regra geral, traduzem as preocupações corporativas das empresas petrolíferas e, conseqüentemente, condicionam os modelo de gestão de saúde, segurança e ambiente – SSA, frequentemente designado por HSE (*Health, Safety and Environment*). Tradicionalmente, e reflexo destas preocupações, surgem dois sistemas de gestão estabelecidos por dois normativos que são:

- ISO 14001 [1] – Determina o sistema para a gestão ambiental – **SGA**;
- OSHAS 18001 [2] – Determina o sistema para a gestão de segurança e saúde no trabalho – **SGSST**.

O cruzamento entre estes dois sistemas de gestão com âmbitos de aplicação diferentes, um ambiental e outro de segurança ocupacional, prende-se essencialmente à grande pressão que existe sobre este sector em reduzir ao máximo a probabilidade de acidentes e os efeitos relacionados com os seus processos produtivos.. A somar a estes dois sistemas, existem ainda as condições legais em vigor, que estarão adaptadas ao tipo de operação e equipamentos, é o caso da directiva SEVESO III, mais concretamente o D.L. nº 150/2015 [3], que estabelece as condições para regime de prevenção de acidentes graves, onde estão enquadradas também as instalações de armazenagem de produtos derivados de petróleo.

Esta questão da segurança, para além de enquadrar o conceito de Manutenção abordado neste trabalho, aplica uma espécie de travão na típica ideia de que o responsável pela Manutenção apenas tem de reduzir custos e avarias para melhorar a acção da Manutenção. Esta é uma ideia redutora, principalmente no sector petrolífero, que é especialmente regulamentado. No contexto deste trabalho, a melhoria define-se como a procura pela maximização da disponibilidade dos activos, garantindo os requisitos corporativos e legais ao nível da segurança. Estes requisitos corporativos

traduzem-se no estabelecimento de níveis de risco que definem a acção do negócio, seja ao nível da operação como da Manutenção.

Contudo, e apesar dos óbvios benefícios, o âmbito restritivo destes sistemas é muito direccionado à parte de redução do risco associado à questão ocupacional e ambiental. A função da Manutenção tem claramente um enorme peso na equação da segurança, garantido a monitorização e correcta acção sobre os equipamentos para que sejam cumpridos os níveis de segurança estabelecidos. No entanto, e a respeito destes sistemas neste tipo de instalações, não existe uma forma clara de como a acção da Manutenção deve ser gerida, reduzindo as melhorias ou oportunidades desta na aplicação e cumprimento dos referidos sistemas.

Actualmente, os SGA e os SGSST começam a exigir evidências de uma gestão da Manutenção baseada no risco, ainda que não defina qual a melhor forma de a conduzir em concreto. É solicitada à Manutenção um especial foco nos equipamentos mais críticos, ou seja, naqueles onde determinadas falhas originem consequências de maior severidade para as pessoas e o ambiente.

A solução será procurar um modelo na Manutenção que:

- Integre os requisitos dos modelos de gestão de segurança ocupacional e ambiente em vigor a iniciativas de melhoria das actividades de Manutenção, criando directrizes de gestão de uma forma global e holística;
- Consiga reconhecer e gerir as prioridades das actividades de Manutenção definidas pelos sistemas de gestão de topo e legislação em vigor de forma segura e economicamente eficiente.

Esta melhoria é um enorme desafio especialmente quando nos deparamos com o aumento de complexidade dos processos, variedade de activos, exigências dos sistemas de gestão e dos requisitos legais. Uma das estratégias mais empregues nesta indústria, e não só, passa pela integração dos seus activos e processos num único sistema de gestão de forma transversal, incluindo a acção da Manutenção, aplicando os modelos baseados no risco e priorizando as acções com especial foco nas actividades críticas.

É importante referir que os conceitos aqui abordados no âmbito da melhoria da Manutenção, serão enquadrados com a realidade típica de uma pequena instalação, ausência de registos históricos e informação referente a avarias, custos, tempos de imobilização e falta de cultura de Manutenção das pessoas afectas a esta. Isto obriga à criação de um modelo formulado em suposições empíricas e baseado na experiência e avaliações qualitativas.

Pretende-se assim, criar uma série de conceitos que, depois de perfeitamente interiorizados e integrados nas actividades de Manutenção, poderão permitir o desenvolvimento, a prazo, de modelos mais complexos, com recurso a modelação estatística e à utilização de modelos matemáticos caso tal se justifique.

Este modelo de melhoria não segue uma fórmula genérica, ajustando-se de forma a responder aos objectivos e metas impostas pelas estratégias corporativas estabelecidas. Conforme observado anteriormente, as medidas incluídas neste modelo estão todas relacionadas e interdependentes entre si. A existência de objectivos que definem uma estratégia permitem definir um programa de Manutenção e orientar a sua acção pelo seu desempenho, tudo suportado por um sistema de gestão computadorizado, conforme será descrito no capítulo 1.2.3.

1.2. Motivação

A questão da melhoria é um tema de largo espectro e extremamente complexo. No caso específico da indústria petrolífera, existem uma série de documentos e normas que apresentam soluções e metodologias que orientam a gestão da Manutenção para que esta seja feita de forma melhorada, procurando sempre um balanço entre custo-benefício e garantindo um nível segurança conhecido. Muitas vezes, estes temas são tratados considerando instalações como refinarias, complexos de armazenagem de grandes dimensões ou outras instalações associadas à exploração com níveis de recursos financeiros e técnicos bastante generosos, ficando as instalações de menor dimensão um pouco “fora” deste quadro. Consequência de tal, a cultura de melhoria e de melhoria da Manutenção nestas instalações é pouco nutrida, tornando-se pouco eficiente comparativamente à efectuada nas de maior dimensão. Em muitos casos, o custo associado à implementação de medidas supera largamente eventuais benefícios, muitas vezes acabam reprimidos pelo factor escala.

Por outro lado, estas pequenas instalações têm exactamente o mesmo grau de responsabilidade no que toca à capacidade de responder aos objectivos e exigências impostas pelos sistemas de gestão SSA implementados, muitas vezes com o mesmo grau de exigência ao nível legal das grandes instalações, em reflexo da dimensão corporativa, pela perigosidade e quantidade dos produtos e regras que regulam este sector. No contexto legal, principalmente na Europa e neste sector em concreto, a tendência é de as regras tornarem-se cada vez mais restritivas, obrigando à aplicação de métodos de gestão mais assertivos que incluam a Manutenção. O cenário macroeconómico mundial exige às companhias a melhor performance e rentabilidade dos seus activos para um futuro sustentável.

Torna-se, portanto essencial, para quem tem responsabilidades na Manutenção de uma instalação armazenagem de produtos petrolíferos, estar perfeitamente enquadrado com os conceitos e temas envolvidos na questão da gestão da Manutenção e sua melhoria, não só pela perigosidade da

operação mas também por razões económicas. Estes incluem tanto os temas técnicos, com os temas SSA. Só assim é possível tomar decisões correctas e adaptar os conceitos e metodologias existentes à sua realidade.

1.2.1.Necessidades de Estratégia na Manutenção

Este trabalho procura em apresentar um modelo que ofereça orientações e ferramentas para um modelo gestão da Manutenção para terminais de combustíveis perfeitamente enquadrados com os modelos de gestão já existentes.

Numa primeira fase, a preocupação será definir o tema de melhoria, perceber quais as pretensões da gestão de topo e como se poderá criar um modelo de melhoria para a Manutenção de uma forma sensata, não caindo em exageros ou irrealidades. É necessário compreender a realidade actual, a meta a atingir, os recursos existentes e os necessários, fazendo um balanço entre custo vs. benefício. Só se poderá considerar melhoria se este balanço for positivo.

Esta é a tarefa árdua que cabe ao gestor de Manutenção, definir e orientar medidas para que isto aconteça.

A estratégia para o modelo de um programa de Manutenção torna-se assim o factor chave para que sejam cumpridos os objectivos corporativos, juntamente com um programa de gestão de activos bem estruturado que garanta as interfaces e o fluxo de informação necessários para um sucesso a longo prazo.

Esta abordagem à gestão e a sua melhoria a partir da Manutenção deverá traduzir-se de um modo geral em:

- Aumento da disponibilidade geral dos activos;
- Redução de custos de operação e de todo o ciclo de vida;
- Melhorar a capacidade de decisão no contexto da Manutenção e fundamentar investimentos.

Uma boa estratégia de Manutenção pode abordar e encontrar soluções que melhorem todas as suas acções; assim todo o processo de produção será beneficiado, reduzindo simultaneamente os custos. Aos olhos de uma administração, a existência de uma cultura/estratégia de Manutenção bem incorporada deverá ser tão importante como um programa de qualidade, seja este ambiental ou de segurança para atingir os seus resultados. É também uma forma de garantir o comprometimento da Manutenção nos objectivos corporativos.

1.2.2. Integração e Gestão da Informação - Pilar da Estratégia

Actualmente, ao nível da gestão de activos, procuram-se soluções integradas que sirvam de suporte a todas as actividades, dando uma visibilidade holística de todo o processo de produção e um controlo de custos eficientes. O mesmo se aplica à Manutenção, que muitas vezes pode estar integrada numa plataforma dedicada ou então incorporada numa só juntamente com a operação.

Esta integração, conforme referido anteriormente, é uma premissa base para a gestão de activos e um suporte para qualquer organização. Quebra com a típica segregação organizacional e procura fundir as partes financeira e de investimentos, operacional e administrativas contemplados nos sistemas de gestão numa só estrutura.

No caso específico das instalações de armazenamento de combustíveis, a questão da integração é muito importante para a apresentação de uma estratégia para a Manutenção que incorpore uma gestão holística, que tenha em consideração todas as exigências legais, sistemas de gestão em vigor e multidisciplinariedade das actividades. A figura 1 abaixo representa e ilustra de forma transversal esta necessidade de integração na área da Manutenção.

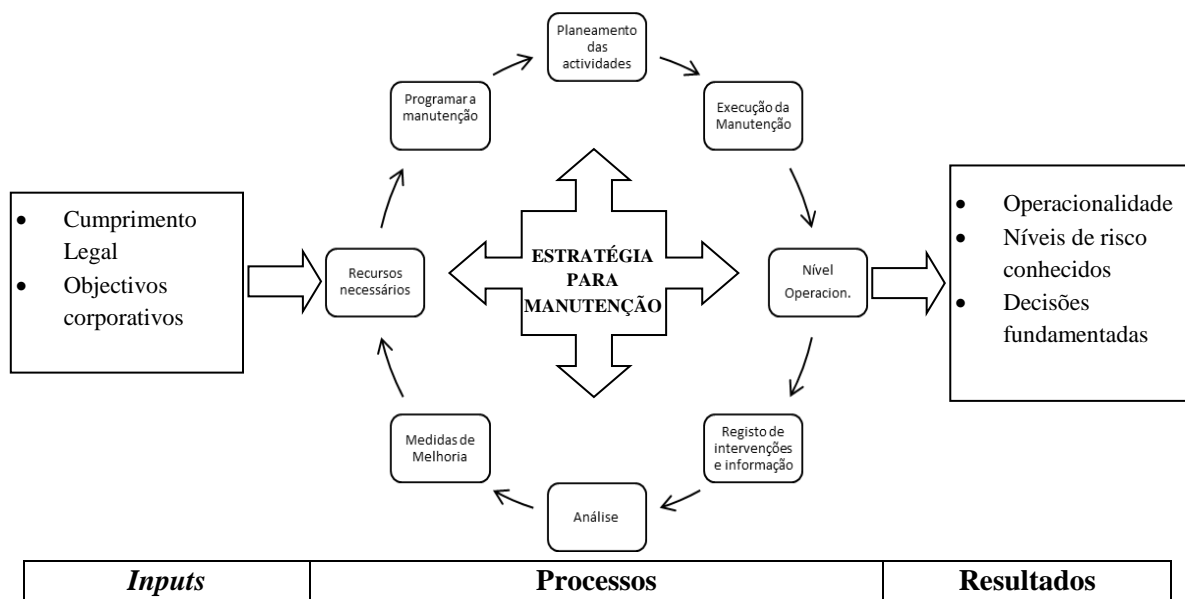


Figura 1 – Definição estratégia para Manutenção.

1.2.3. Implementação de um CMMS e Monitorização de Desempenho

Paralelamente à necessidade de dotar este tipo de instalações com um modelo para a gestão da Manutenção melhorado, orientado para o cumprimento legal e objectivos corporativos, há também a intenção de implementar um *software* para a gestão da Manutenção – CMMS - *Computerized*

Maintenance Management System – como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento do conceito melhoria.

Esta abordagem à Manutenção e sua contextualização no tema melhoria da gestão de activos, baseia-se em recolha de informação e introdução de um sistema de indicadores de desempenho. Tudo associado a planos de Manutenção adaptados à realidade existente e baseados na criticidade dos equipamentos, uma boa gestão das actividades de Manutenção para uma execução eficiente e recursos humanos adaptados e motivados. A recolha e gestão da informação recolhida será crucial para uma correcta avaliação da condição dos equipamentos, posterior análise e tomada de decisões, procurando planear soluções antes dos problemas acontecerem e mudando a tendência reactiva típica da inexistência de uma estratégia.

As razões que justificaram a implementação do CMMS como um elemento – chave na estratégia de Manutenção, foram a possibilidade do registo de informação que permita uma posterior análise de como e quando os equipamentos falham por meio de ferramentas para a previsão. Ou seja, uma Manutenção baseada na condição dos equipamentos, evitando avarias não previstas, garantindo a sua operacionalidade de forma eficiente e com a perspectiva de reduzir a forma reactiva com que é gerida a Manutenção. Isto faz do CMMS um suporte para o modelo integrador, ao criar uma estrutura de recolha e gestão de informação.

O principal objectivo para esta implementação é a criação de uma plataforma de gestão dos trabalhos, integração e registo de todas as actividades relacionadas com a Manutenção. Por um lado, permite contornar o problema da dispersão de informação de forma simples, existindo uma só plataforma que consiga gerir trabalho, documentação, datas e recursos com sistematização dos processos associados à Manutenção. Por outro lado, a capacidade de registo e rastreio de informação associadas ao CMMS que permite a utilização de KPI's, permitindo a medição de desempenho e posteriormente justificar decisões de melhoria. Inevitavelmente, esta implementação obriga à definição e/ou reformulação dos fluxos e processos, ou seja, a abordagem à Manutenção.

A utilização de indicadores de desempenho faz parte da orgânica processo de melhoria e procura pela melhoria contínua na gestão de uma forma geral. Deverão ser definidos conjuntos de indicadores que monitorizem e acompanhem a função da Manutenção. Este torna-se um passo incontornável, principalmente se se deseja garantir que todas as alterações ao processo dignas de registo são detectáveis em vários aspectos, técnicos, económicos ou financeiros. Neste trabalho os indicadores foram separados em dois grupos de acordo com a sua natureza: *lagging* e *leading*.

De uma forma geral, os indicadores no contexto da gestão dão origem a oportunidades de melhoria e são uma ferramenta fundamental para justificar decisões, diagnosticando variações em vários aspectos relacionados com as actividades de Manutenção.

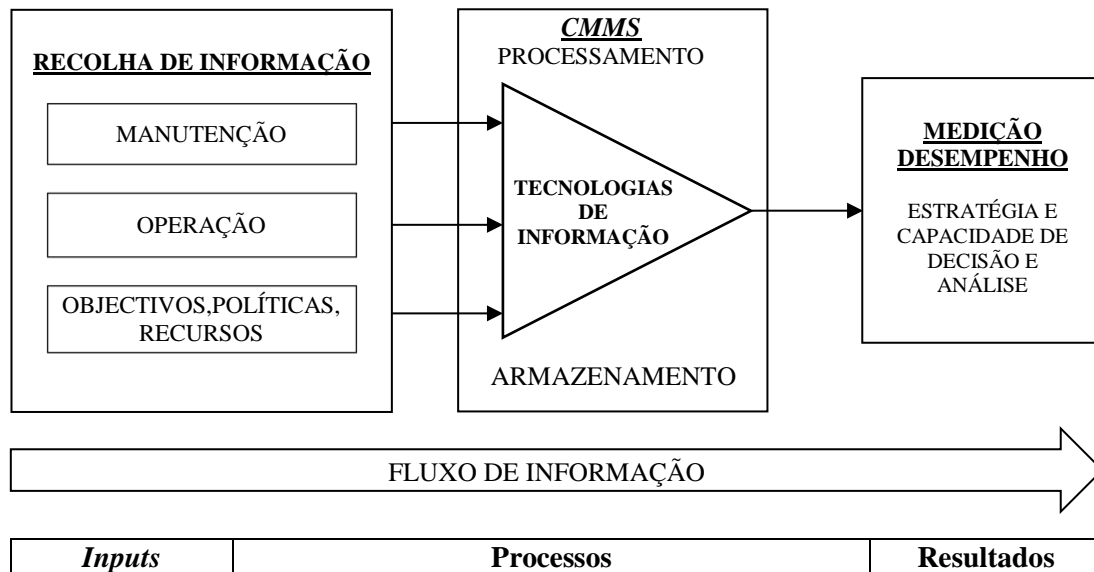


Figura 2 – Integração e Fluxo de Informação na Manutenção.

Neste contexto em particular, há espaço para desenvolver uma série de temas, como o aumento de disponibilidade, a redução de custos de reparação e as consequências das avarias, sem esquecer, contudo, que estas decisões são tomadas num campo crítico da empresa que é a operacionalidade e a segurança dos seus activos. A introdução de indicadores de desempenho, como por exemplo a determinação do MTTF e do MTBF para acompanhamento do desempenho e a evolução destes de acordo com a utilização e/ou variações no ambiente da operação.

A importância de uma estratégia integrada é essencial, de modo a garantir uma verdadeira disponibilidade e confiabilidade da informação necessária para o *input* destes indicadores, assim, como as práticas de partilha entre parte financeira e operacional, registo de informação por parte de pessoas e equipamentos, formação e sensibilização das pessoas responsáveis pela introdução e análise dos dados.

Obviamente, terá que existir uma estrutura para o registo de dados. Neste campo, a implementação do CMMS é também justificada para que seja possível um registo numa base de dados comum, em vez da informação dispersa em folhas de cálculo, por exemplo, e que permita uma visão em tempo real e geral da situação actual de um indicador.

O desenvolvimento destes modelos poderá levar, em casos avançados de implementação, e onde exista recolha efectiva de informação, à criação de algoritmos para a previsão de eventuais falhas prevenindo paragens por avaria e respectivas consequências. O nível de utilização destes recursos a informação está intrinsecamente ligado à maturidade e nível da Manutenção praticada; é de

sublinhar que a implementação de medidas obriga a conhecer e avaliar os recursos existentes previamente.

1.2.4. Modelo para Melhoria da Gestão da Manutenção – Manutenção Baseada no Risco

Com a identificação das necessidades ao nível da gestão, é necessário criar as condições para a implementação de um modelo de gestão concreto que incorpore todos estes conceitos de forma sistematizada. A introdução do factor risco acaba por ser um conceito – chave na definição da forma melhorada de como gerir a Manutenção. De forma simples, há uma disponibilidade de recursos para a execução das actividades de Manutenção e esses deverão ser conduzidos de forma a que sejam cumpridos os objectivos de SSA e garantir a operacionalidade de uma instalação.

A exigência das certificações de gestão ambiental e segurança ocupacional anteriormente abordadas, assim como a mais exigente directiva SEVESO, obrigam os operadores que movimentam grandes quantidades de produtos de elevada perigosidade, à implementação de sistemas de gestão de segurança, estando nestes, implícito uma monitorização cujo objectivo é de reduzir ao mínimo aceitável a probabilidade de incidências em equipamentos críticos. A introdução de modelos para a gestão da Manutenção com base no risco já não é novidade, sendo a sua utilização feita em larga escala, especialmente na indústria petroquímica que utilizam estes modelos como forma de atingirem os níveis exigidos pelos seus sistemas de segurança.

A falta de um modelo de Manutenção bem estruturado e enquadrado com a realidade, seja ao nível dos recursos, dos requisitos legais ou dos sistemas de gestão existentes, resulta normalmente em falhas de produção, reparações não previstas e dispendiosas e aumento da exposição ao risco comprometendo a segurança. Outro exemplo bem conhecido por falta de um modelo de Manutenção, e estratégia, é a aplicação de planos de Manutenção de forma transversal a equipamentos “tipo”, sem qualquer critério de criticidade ou frequência de utilização. Muitas vezes a pressão e ambição de querer ver cumprido os requisitos de SSA impostos pelos sistemas de gestão existentes neste tipo de instalação leva, por vezes, à implementação de planos de Manutenção sobredimensionados e sem qualquer tipo de análise ou critério do ponto de vista técnico-económico, sorvendo recursos que, muitas das vezes, já são escassos.

Estas necessidades de melhorar numa forma equilibrada passam pela introdução da análise de risco no modelo de gestão da Manutenção. Isto permite orientar a sua acção de acordo com a criticidade, direccionando esforços onde o risco seja maior. A figura 3 é um exemplo simples que caracteriza esta acção à medida do risco.

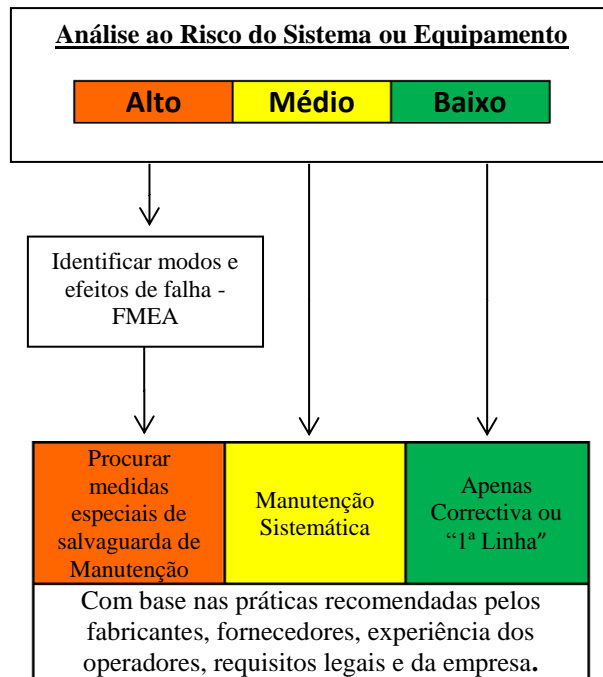


Figura 3 – Manutenção Baseada no Risco.

Neste trabalho é apresentado um modelo para a gestão melhorada da Manutenção, com a introdução da análise de criticidade dos sistemas e equipamentos que constituem um terminal petrolífero. Os equipamentos são identificados e classificados de acordo com as consequências em caso de falha de uma de forma organizada e, posteriormente, definidas as acções de Manutenção. A base é simples: o esforço da Manutenção é proporcional à criticidade dos equipamentos. Assim, garante-se uma base para a gestão envolvendo o objectivo primário de cumprimento dos níveis de SSA pretendidos.

O modelo aqui apresentado foi, essencialmente, realizado a partir da norma NORSOK Z-008 [4], criada especificamente pela indústria petrolífera norueguesa para regulamentação da análise de criticidade da Manutenção. Neste campo em particular, este país apresenta metodologias muito desenvolvidas para gestão da Manutenção baseada no risco, estimuladas pela forte dependência da economia deste país da indústria petrolífera, pelas condições de operação muito adversas existentes no Mar do Norte e especial preocupação pelo ambiente e segurança que caracteriza os países nórdicos em geral.

Nos equipamentos de maior criticidade, deverão estar caracterizados, e bem definidos, os seus modos de falha assim como os seus efeitos. No caso particular dos equipamentos mais críticos, estão definidas formas de gestão específicas como a Manutenção Baseada na Fiabilidade – *RBM* (*Reliability Based Maintenance*). No caso concreto deste trabalho, apenas é dado foco na introdução de formas para determinar modos de falha e as suas consequências, mas também oferece informação preciosa em medidas de salvaguarda muito importantes, mesmo em instalações

com menores recursos. Modelos de gestão baseados no risco RBM e metodologias como a FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) para a análise dos modos e efeitos de falha são ferramentas que ajudam identificar os equipamentos mais críticos do ponto de vista de operacionalidade ou segurança, servindo de fundamento para a gestão de recursos e priorização de actividades.

O autor do presente trabalho é da opinião que a multidisciplinariedade e flexibilidade é uma qualidade importante a desenvolver nas pessoas que trabalhem na área da Manutenção deste sector e nas instalações mais simples onde os recursos sejam reduzidos, em particular, em que as responsabilidades são concentradas em poucas pessoas mas o risco é elevado. A sensibilidade do meio envolvente e das pessoas às eventuais consequências em caso de falha de um determinado equipamento deixam a Manutenção numa posição de responsabilidade.

1.3. Objectivos

Neste trabalho pretende-se identificar os principais temas que definam e justifiquem um modelo para uma gestão da Manutenção melhorada e os seus desafios num terminal de armazenagem de combustíveis de pequenas dimensões. Este modelo deverá responder às exigências corporativas e perfeitamente enquadrada nos moldes actuais dos sistemas de gestão de SSA.

De forma a tornar claras as medidas para o modelo de melhoria adoptado, os objectivos deste trabalho, os objectivos deste trabalho são uma resposta às principais preocupações da gestão da Manutenção de um terminal de armazenagem de combustíveis:

- Gestão da Manutenção fora da linha dos modelos actuais de gestão de SSA e sem objectivos bem definidos, uma vez que sem objectivos é difícil exigir metas. Muitas vezes estão implementados estes sistemas de gestão extremamente evoluídos e ambiciosos, mas a acção da Manutenção, que é extremamente essencial para o sucesso destes, está desligada de todo este processo e sem conhecimento efectivo do seu papel.
 - ✓ **Estratégia para a Manutenção** – Garantir objectivos bem definidos, realistas e coerentes para que possam ser exigidos resultados. Conhecer as exigências dos sistemas de SSA, quais as responsabilidades e o papel da Manutenção nestes. A informação vasta e complexa obriga à perfeita integração dos recursos existentes e informação para uma resposta eficaz da Manutenção. Compreendendo as exigências e responsabilidades é possível criar um modelo para as gerir.

- Informação dispersa e pouco rastreável, não havendo uma “plataforma” para suporte da gestão dos trabalhos, registo histórico de intervenções e informação relacionada com a Manutenção. Isto leva à impossibilidade de criar mecanismos para avaliação do desempenho e perceber onde é que a acção da Manutenção pode ser melhorada.
 - ✓ **Implementação de um CMMS** – Uma das ferramentas para a melhoria é uma boa gestão da informação, tendo a gestão consciência da importância de uma plataforma que integre toda a informação referente à Manutenção, para que sejam possíveis e viáveis análises, fundamentação e implementação de acções;
 - ✓ **Introdução de indicadores para a medição de desempenho** – Garantir que existe capacidade para avaliar a função da Manutenção e de melhoria, podendo-se assim dar seguimento efectivo de implementação de medidas e existência de orientações de melhoria devidamente fundamentadas em factos.

- Modelo para a Gestão da Manutenção que seja o reflexo das metas e preocupações corporativas, mais concretamente a nível dos sistemas de SSA. A existência de um modelo para a gestão da Manutenção que não seja de aplicação transversal e que introduza o conceito avaliação de risco para priorizar e direccionar esforços nas áreas mais críticas.
 - ✓ **Modelo para a gestão da Manutenção Baseada no Risco (RBM)** – Modelo de gestão com base no risco, onde os fluxos de trabalho da Manutenção deverão ser geridos de acordo com as principais preocupações corporativas, segurança, saúde e ambiente de forma sistematizada;
 - ✓ **Ferramentas para melhoria com introdução de análise dos modos e efeitos de falha dos equipamentos (FMEA)** – Oferecer mecanismos para análise de avarias, onde a principal preocupação é a existência de equipamentos críticos e não haja formas de os explorar para que seja possível apresentar medidas de salvaguarda a nível de actuação da Manutenção, oferecendo níveis de risco conhecidos.

1.4. Estrutura do Trabalho

O trabalho é composto por cinco capítulos, no qual o primeiro conta com a introdução ao tema e seu enquadramento. No segundo capítulo – Definição de Estratégia – Resposta aos Sistemas SSA é feita uma abordagem aos sistemas de gestão mais frequentes numa instalação de armazenagem e como estes definem os objectivos e estratégia à Manutenção. Não são uma descrição aos sistemas em si mas sim uma descrição das exigências destes e responsabilidades da Manutenção. É também feita uma abordagem ao conceito integração, tipicamente os sistemas de gestão actuais impõe uma série fluxos de informação que exigem uma capacidade de gestão integral e visão holística. No terceiro capítulo – Implementação de um CMMS e Monitorização de Desempenho, são

introduzidos os principais conceitos e argumentos que fundamentam a implementação de um CMMS e da monitorização de desempenho, com introdução de indicadores. Para além da explicação do conceito de *software* para a gestão da Manutenção, é justificar a sua importância e quais as principais preocupações, desde a selecção das suas funções até à definição dos fluxos de processos de Manutenção. Tendo uma ferramenta para o apoio à gestão e registo de informação, é então possível introduzir o conceito de monitorização de desempenho de forma efectiva. A ligação destes dois temas justifica a sua presença neste mesmo capítulo. No quarto capítulo – Programa de Manutenção – Gestão Baseada no Risco, são apresentados os principais conceitos incluídos na avaliação de risco e introdução destes na gestão da Manutenção. É descrito um modelo baseado no risco para a gestão da Manutenção, RBM, baseado na norma NORSOK Z-008 [4]. De forma a tornar este processo mais claro, é apresentado uma primeira fase onde são criadas as condições para a gestão do risco com a criação de uma estrutura funcional, onde são evidenciados os equipamentos mais críticos. E uma segunda fase onde são definidos os vários caminhos para a Manutenção de acordo com a criticidade destes. Para a definição dos equipamentos mais críticos é introduzida a metodologia FMEA como ferramenta para orientar acção da Manutenção em equipamentos críticos identificando os modos de falha e os seus efeitos na operação. Finalmente, no quinto capítulo – Conclusões – são apresentadas as considerações obtidas do trabalho desenvolvido e apresentação de eventuais temas que poderão ser desenvolvidos no futuro.

2. DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIA

2.1. Desenvolvimento de uma estratégia para a Manutenção e sua melhoria

O conceito de melhoria passa por apresentar uma solução a partir um modelo de Manutenção cuja estratégia reúna as condições para que esta seja capaz de dar resposta aos interesses e expectativas corporativas. Uma das grandes dificuldades é avaliar os recursos existentes e necessários, fazendo uma análise custo-benefício destes. Para a Manutenção em forma geral, existem variadíssimos modelos, cada um com estratégias e programas de Manutenção diferentes com variadas exigências ao nível dos recursos.

Existem vários autores que examinam e propõem modelos de Manutenção que incluem políticas para substituição de equipamentos— pela idade, em bloco, por número limite de falhas, por custo limite de reparação, por tempo limite de reparação...— para a melhoria e optimização de *stocks* de sobresselentes, etc. Estes modelos podem ainda ser feitos com adição de características e condições que tornam a política de Manutenção mais realista, como é o caso da Manutenção condicionada.

Estes modelos são também definidos tendo em conta as condições de trabalho e operação, agendas de produção (caso de produções contínuas) ou questões de segurança e ambiente que no caso concreto deste trabalho, definem a estratégia este trabalho. Mas nestes modelos todos há algo em comum: a introdução de uma estratégia.

De uma forma geral, para a criação de uma estratégia robusta orientada para melhoria da Manutenção e para o tema gestão de activos passa por:

- Justificar e criar uma estratégia coerente para a Manutenção que respeite e apoie as preocupações, estratégias e compromissos corporativos;
- Utilização do conceito integração nos recursos da Manutenção que permita a “visão holística” da função, desejada pela gestão de activos;
- Criação de condições para integração dos fluxos de informação e armazenagem para posterior análise, a criação de uma base de informação referente à utilização e históricos de Manutenção dos equipamentos;
- Criação de condições para que a Manutenção seja estatística e mensurável;

A definição de objectivos enquadrados com as pretensas de uma administração de uma empresa definem uma estratégia para um negócio. O mesmo se aplica à Manutenção, na mesma linha dos planos estratégicos empresariais, nesta área é necessário definir objectivos e formular estratégias que permitam uma visão global e a prazo e integrem esta função na estratégia da empresa.

De acordo com Pinjala e Pintelton [5] uma estratégia de Manutenção é definida por “*um conjunto de decisões sistematizado e integrado, feitas a partir de quatro elementos estruturais e seis variáveis que conduzam aos objectivos propostos*”.

Estes consideram que a estratégia se divide em dois blocos, elementos estruturais e variáveis. Os elementos estruturais são quatro e são aqueles que fazem parte da estrutura da empresa e que estão fora da esfera de acção da Manutenção, são definidos e limitados pelas políticas, características, dimensão e, ou modelo de gestão da empresa. São estes:

- Capacidade financeira e técnica disponíveis para a Manutenção;
- Instalações disponíveis;
- Recursos tecnológicos disponíveis, definidos pela tecnologia disponível no momento ou pela própria disponibilidade financeira para os adquirir;
- Capacidade de integração, integração vertical de todos os recursos existentes.

Em contrapartida, existem o bloco das variáveis constituídas por seis elementos. São variáveis porque são os que estão no perímetro de influência da Manutenção, que poderão ser alvo da sua gestão e conseqüentemente, serão nestes que deverá procurar medidas de melhoria. São estes:

- Organização da Manutenção;
- Políticas para a Manutenção;
- Planeamento da Manutenção, *stocks* e medidas de controlo;
- Recursos humanos afectos;
- Indicadores de performance da sua acção;
- Programas de estímulo e recompensa.

Apesar de distintas, estes dois tipos de elementos estão relacionados entre si, em que os elementos variáveis estão circunscritos aos elementos estruturais. Uma utilização óptima dos recursos estruturais existentes está dependente das decisões tomadas pelo gestor de Manutenção sobre os recursos variáveis, mas em contrapartida os estruturais limitam a utilização das variáveis. Ou seja, recorrendo a uma analogia mais simples, os elementos estruturais serão como as ferramentas disponíveis para a acção da Manutenção e os elementos variáveis, a forma como as utiliza.

A figura 4 simplifica esta ideia, de como o alcance da gestão da Manutenção estará sempre circunscrito aos limites da sua esfera de responsabilidade, os elementos variáveis.

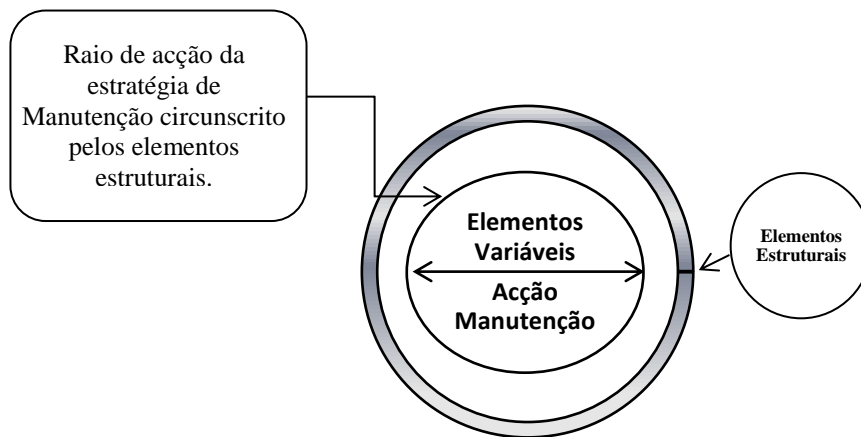


Figura 4 – Campo de acção para a estratégia para a Manutenção.

A forma como são explorados e geridos estes elementos variáveis, reflecte-se directamente na capacidade da Manutenção conseguir responder às estratégias corporativas. A gestão e o processo de definir uma estratégia para a Manutenção irão variar de empresa para empresa, influenciados por factores internos e externos associados às necessidades de operativas e económicas de cada uma destas. Na figura 5 identifica várias condicionantes que possam vir a afectar a definição e a gestão de um modelo para a Manutenção.

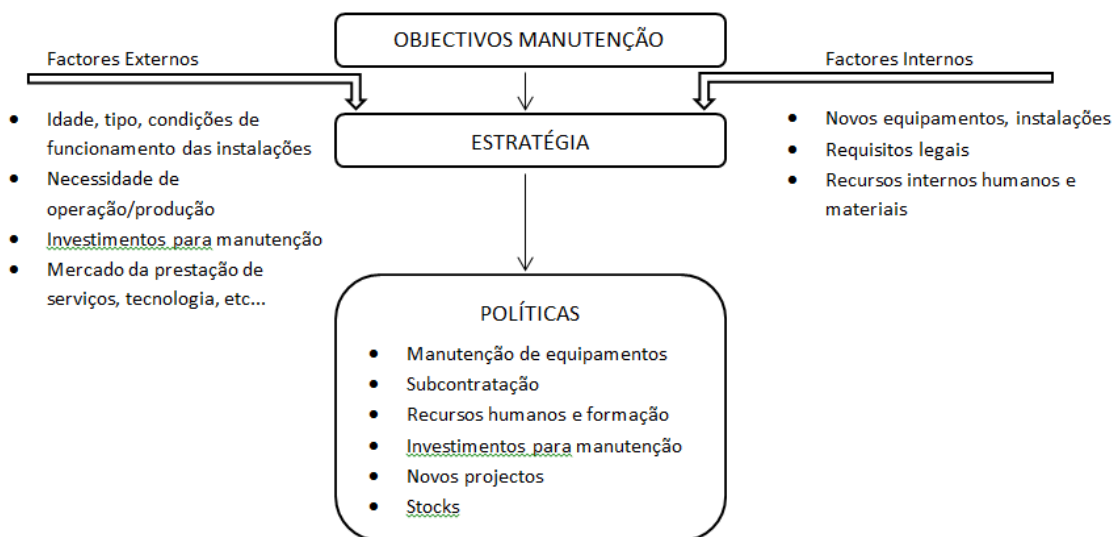


Figura 5 – Factores internos e externos que influenciam a estratégia da Manutenção, (adaptado de [6]).

No sector petrolífero, as instalações de armazenagem, que dado ao risco associado, à natureza da operação e produtos que movimenta ou armazena, é muito regulamentada, muito devido às políticas de Segurança, Saúde e Ambiente, **SSA**, contempladas nos modelos de gestão. Este é certamente o elemento estrutural que mais condiciona e que torna a actividade da Manutenção algo complexo e desafiantes neste sector.

Dada a sua importância como factor condicionante e determinante na estratégia de Manutenção, mais à frente, será abordado como estes sistemas se relacionam e qual o papel da Manutenção nestes.

2.2. Integração - Conceito base para estratégia de Manutenção

Como foi visto anteriormente, a criação de um modelo com uma estrutura e estratégia na Manutenção terá que contemplar uma série de questões envolvendo as políticas adoptadas, que como é óbvio, terão maior ou menor relevo de acordo com o tipo e dimensão. Para além de ter que cumprir os seus objectivos e dar suporte aos objectivos corporativos, terá que garantir aspectos técnicos e funcionais, organizacionais e administrativos, requisitos legais; condições de aspecto geográfico, formação; recursos internos; recursos externos – o *outsourcing*.

Na tabela 1, pode-se observar vários aspectos que e exemplos da vida real que possam condicionar a actividade da Manutenção. O rol diverso de actividades e objectivos que interferem com a Manutenção obrigam ao gestor de Manutenção a idealizar uma estrutura integrante.

Tabela 1 – Temas a contemplar numa estratégia integrada para a Manutenção, (adaptado de [7]).

Tipo	Exemplo
Objectivos Operacionais	Necessidades do cliente, exigências e preferências; objectivos e planos de produção, padrões de operação, disponibilidade, etc.
Objectivos para a Manutenção	Melhoria de custos e desempenho com foco nos equipamentos críticos, sustentabilidade técnica-financeira, disponibilidade de equipamento e instalações
Organizacionais e administrativos	Organização da Manutenção, gestão dos recursos humanos, turnos, planeamento e agendamento de intervenções, reportar avarias, etc...
Requisitos legais	Os contemplados nos Sistemas de SSA –Saúde, Segurança e Ambiente
Localização geográfica	Infra-estruturas, cultura (recursos humanos...), estabilidade política, garantias para equipamentos e serviços, condições ambientais;
Serviços Suporte, Formação	Formação, garantias, assistência por especialistas, suporte remoto e diagnóstico, etc...
Recursos Internos	Nível de competência, instalações, ferramentas, recursos técnicos e humanos, custo de mão de obra, etc..
Recursos Externos	Prestadores de serviço, recursos humanos subcontratados, serviços de logística, assessoria técnica.

A integração é um tema muito em voga no contexto da gestão de activos, apresentado aqui também como um conceito a ter em prática na Manutenção, para resposta desta às exigências dos modelos de gestão em vigor.

Neste tipo de instalações em particular, os mercados de combustíveis exigem alterações permanentes e flexibilidade; por exemplo, as questões de aditivização de combustíveis, são um tema que implica alterações permanentes nos sistemas de injeção destes mesmos aditivos, resultando na entrada e saída ou vice-versa de equipamentos. Constantemente há documentação para analisar,

arquivar, reformulação de planos de Manutenção, que é impossível de ser bem feita se estiver dispersa.

É sabido que a Manutenção é um ambiente multidisciplinar, onde há um fluxo constante de informação, técnica, financeira, recomendações resultantes de auditorias, dados provenientes de inspeção de equipamentos e ordens de trabalho. Por exemplo, se decidir-se aumentar níveis de produção/operação, aumentando ritmos e parâmetros operacionais, isto poderá comprometer a integridade de alguns equipamentos, aumentando os níveis de risco e exposição ao perigo a pessoas, operação e ambiente. Ou então, pode-se manter os mesmos níveis, aumentando proporcionalmente os esforços de Manutenção e, naturalmente, os seus custos. De forma a acompanhar este aumento de produção, a função de Manutenção também precisa de procurar novas ferramentas e melhorar o seu desempenho a nível organizacional, tecnológico e humano para que o diagnóstico e resolução de eventuais falhas seja mais rápido.

A figura 6 ilustra como esta necessidade de integrar estes processos e informação de forma eficiente passa pela utilização de um CMMS.

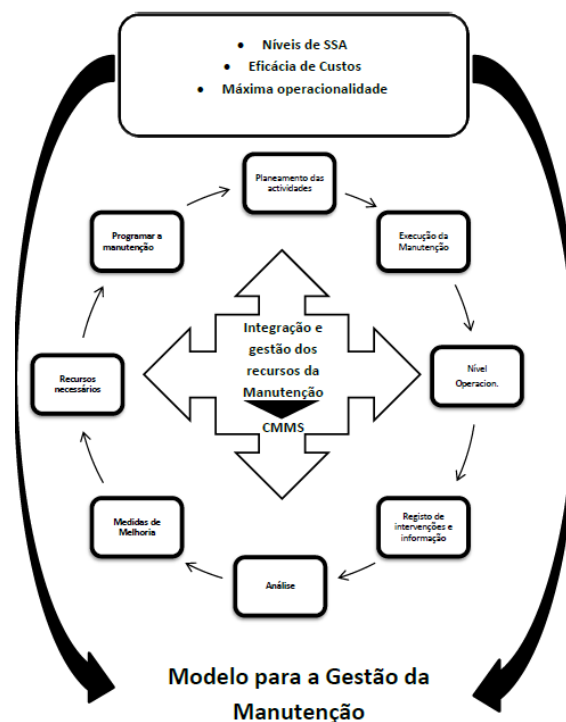


Figura 6 – Integração num modelo da Manutenção.

2.2.1. Políticas de Utilização de Recursos

Esta integração, juntamente com a estratégia definida, para além de contemplar a gestão da informação, considera também os recursos definidos anteriormente que estão na esfera da gestão da Manutenção, sejam estes, tecnológicos, materiais, documentais ou organizacionais [8].

- **Organizacionais** - referem-se à criação de uma estrutura para a Manutenção com uma estratégia e capacidade para gerir e planear trabalho;
- **Materiais**- referem-se à questão de aquisição, armazenagem e utilização de sobresselentes;
- **Tecnológicos e documentais**- referem-se à recolha, análise e armazenagem de informação necessárias para tomar decisões sobre a gestão da Manutenção.

Basicamente, este ponto consiste em perceber quais os recursos existentes e perceber de que forma estes poderão estar orientados para o cumprimento das políticas e estratégia existentes. Antes de haver um compromisso com qualquer objectivo, deverão ser identificados os recursos existentes, tanto ao nível actual como ao pretendido e criar-se políticas específicas.

Obviamente, a cada um destes recursos poderia ser dedicado uma análise exaustiva, mas não é o objectivo deste trabalho. Optou-se apenas por enumerar algumas linhas a ter em conta e de conhecimento geral.

2.2.1.1. Políticas para Recursos Materiais

A dimensão reduzida das instalações muitas vezes dispensa políticas muito específicas para recursos materiais. É necessário perceber a partir da criticidade, tempos de reparação e valor estratégico aquilo que deverá ser garantido. A maioria do pessoal e serviços subcontratados para a Manutenção existentes já contempla todos os consumíveis necessários para a execução do plano de actividades previstos. Para outros materiais e sobresselentes, essa gestão de *stocks* será feita juntamente com fornecedores especializados, salvo excepção *stock* de alguns sobresselentes de reserva mais estratégicos mas com um peso mínimo na gestão da Manutenção ou financeira. Deve ser definido um fluxo para rastreio dos materiais antes da implementação do CMMS.

2.2.1.2. Políticas para Recursos Tecnológicos e Documentais

Deve ser definido um fluxo para gestão e controlo da documentação associada aos trabalhos e actividades de Manutenção – a não existência de um fluxo bem definido para a documentação da Manutenção faz com a informação esteja dispersa, difícil de consultar e não seja controlada, certificados de aferição, evidências de Manutenção e alterações em equipamentos, etc. A questão da definição dos fluxos é muito importante na implementação de um CMMS, como será abordado no próximo capítulo.

Deve também ser feita uma substituição de ferramentas dispersas para gestão de informação da Manutenção – Utilização de Excel, Access, Word ou mesmo papel – por uma plataforma comum para uma política de harmonização e integração da Manutenção das instalações, a introdução de um CMMS.

2.2.1.3. Políticas para Recursos Organizacionais/Humanos

É fundamental garantir que o pessoal afecto à Manutenção está envolvido, tem conhecimento das políticas de segurança e competências para compreender e desenvolver as acções a que estão designados, assim como o seu nível técnico. A dimensão das equipas de Manutenção deverá adequar-se ao tipo de trabalho e funções requeridas.

Evitar sempre criar-se incompatibilidades entre as pretensões necessárias para que se atinja o nível desejado e a estrutura humana existente. Todo o pessoal terá que ter presente a sua responsabilidade para a segurança e operacionalidade da instalação. A Manutenção presta internamente um serviço a todas as áreas, mas estas devem reportar situações e ter uma atitude pró-activa.

Os recursos humanos são um dos grandes suportes e recursos a qualquer actividade e tal não é menos verdade nas actividades de Manutenção. A não correcta integração deste recurso terá sempre consequências graves a níveis operacionais e de segurança. A integração dos recursos humanos pretende garantir dois grandes objectivos, por um lado garantir o correcto desempenho com motivação, inovação e responsabilidade. Por outro a procura pela melhoria e o acesso a informação em tempo real e em permanência, com sentido crítico e experiência com capacidade de identificar e resolver problemas. Pretende-se assim, procurar uma harmonia entre a implementação de novas tecnologias, equipamentos ou abordagens à Manutenção e as pessoas que as utilizam. Só assim se consegue a eficiência e desempenho expectáveis às eventuais alterações e considerar-se uma verdadeira implementação.

Esta integração das várias vertentes da função Manutenção, em especial neste sector, onde os factores segurança e eficiência operacional são imperativos, é elevada a níveis muito altos. Isto obriga, inevitavelmente, ao aumento de complexidade de sistemas sócio-técnico-organizacional (sejam estes controlo de entrada em instalações, pedidos de material, gestão do fluxo de trabalho, etc...) que por sua vez obrigam à integração das pessoas com estes novos sistemas [9]. Como tal, os humanos devem ser olhados parte central do sistema de Manutenção.

A integração de toda esta informação e *know-how* numa estrutura oferece uma flexibilidade e robustez à gestão da Manutenção.

2.2.2. Integração da Informação

Esta integração dá suporte para a recolha de informação actualizada que na Manutenção traduz-se numa identificação rápida, e muitas vezes precoce, de avarias ou outros eventos não detectáveis que levam a avarias. Conhecendo-se o que a estrutura da Manutenção envolve, quando se fala em melhoria da Manutenção fala-se em conhecer, avaliar e melhorar o desempenho de uma série de questões. E todo este conhecimento está dependente de informação de qualidade.

Contemplando uma estrutura que identifique e integre toda a informação, e que tenha bem definido os fluxos dos vários processos de Manutenção, a melhoria de desempenho será facilitada permitindo que, neste caso concreto, seja possível defender os objectivos atribuídos à Manutenção

A criação desta estrutura será essencial para a criação de um modelo de Manutenção e um dos argumentos fortes para recorrer-se a um CMMS na gestão da Manutenção como um suporte para a melhoria, conforme se poderá observar no capítulo seguinte, dedicado a este tipo de recurso.

Apesar de um conceito um pouco mais abstracto, as definições de estratégia, objectivos e integração são conceitos muito importantes quando se lida com a Manutenção de uma instalação e de um negócio cuja operação é feita sob sistemas de gestão exigentes.

2.3. Estratégia e Objectivos para a Manutenção – Resposta às Políticas de SSA

Conforme referido anteriormente, a estratégia da Manutenção deverá definir uma linha de orientação para as actividades de Manutenção para que esta responda aos objectivos a que se propõe. No caso das instalações de armazenagem, os sistemas frequentes são:

- SGA - Sistema de Gestão Ambiental definido pela norma ISO 14001 [1];
- SST - Sistema de Gestão de Segurança definido pela norma OSHAS 18001 [2].

“Desenvolvimento de todas as suas actividades considerando como valores essenciais a segurança, saúde das pessoas e a protecção do meio ambiente. (...) Todas as áreas de negócio deverão regular as suas actividades e dispor dos seus sistemas de Gestão da Segurança e Ambiente aliado ao compromisso da empresa”

De uma forma geral, o compromisso com estes sistemas de gestão passa por:

- Liderança e gestão integrada em todas as actividades;
- Incorporação de critérios de segurança, saúde e ambiente em todo o ciclo das actividades;
- Cumprimento de normas internas e legais;
- Melhoria contínua;

- Comunicação e relação com a sociedade.

Estes dois sistemas poderão estar fundidos num só, **SGASST** - Sistema de Gestão Ambiental, Segurança e Saúde no Trabalho.

Nas instalações de armazenamento, estas normas estão devidamente implementadas e adaptadas âmbito e meio de operação. Neste caso em concreto, descarga, armazenamento, carga e distribuição de combustíveis líquidos derivados do petróleo.

Para além do SGASST em vigor, existe também o **SGSPAG** - Sistema de Gestão para a Segurança e Prevenção de Acidentes Graves. Este surge no âmbito de uma obrigatoriedade legal para operadores de estabelecimentos de nível superior de perigosidade, prevista no D.L. nº 150/2015 [3] que tem como base a directiva SEVESO III [10]. Regra geral, os terminais de armazenagem devido às características e quantidades dos produtos armazenados, são obrigados a adoptar este sistema de gestão.

Regra geral, os sistemas normalizados ISO e OSHAS, não sendo uma obrigação legal, são regulados e auditados a sua correcta implementação por organismos credenciados. Em contrapartida, SGSPAG, em contexto SEVESO, são imposições legais, garantidos por organismos do estado e extremamente exigentes a nível de cumprimento. Este último, implica uma série de medidas para que sejam respondidas as exigências para as medidas de autocontrolo para os vários cenários de acidente previstos numa instalação, incêndio, explosão, derrame e contaminação e monitorização dos equipamentos mais críticos.

A figura 7 ilustra os típicos três sistemas que se podem encontrar numa instalação de armazenagem.

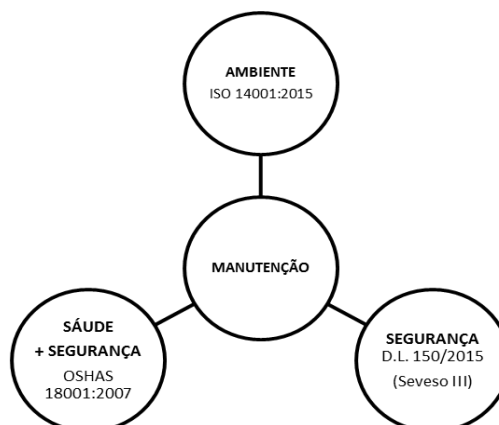


Figura 7 - Preocupações estratégicas de SSA para acção da Manutenção.

Estes três sistemas retratam as três preocupações típicas deste tipo de instalação e indústria e a estratégia da Manutenção deverá procurar contribuir com a máxima eficácia, para que sejam atingidos os objectivos dos sistemas de gestão em vigor.

Seguindo este quadro regulamentar, a gestão da instalação e da Manutenção em particular deverá ser capaz de:

- Contribuir para a melhoria dos procedimentos, com vista à melhoria da eficiência dos processos;
- Identificação de oportunidades de melhoria em todas as áreas do sistema de Segurança e Ambiente em vigor.

Dentro destes dois sistemas existem outros requisitos legais que tornam a sua gestão ainda mais complexa e o seu cumprimento exige o total compromisso na integração das actividades de Manutenção.

No âmbito do SST, com base na OSHAS 18001 [2], existe ainda auditorias no âmbito da Directiva ATEX, D.L. nº 236/03 [11], definida para instalações cuja natureza de operação crie condições para a existência de atmosferas explosivas. Actua essencialmente sobre as instalações eléctricas, recorrendo a:

- Testes, medições e verificações que atestam a existência e o bom funcionamento de equipamentos eléctricos de segurança;
- Verificar circuitos equipotenciais e de ligações à terra nos equipamentos envolvidos, tanques, tubagens, contadores, etc;
- Verificar essencialmente o cumprimento das normativas ATEX nos equipamentos montados.

É importante subentender que esta regulamentação deverá estar em sintonia com uma gestão técnica e financeira de forma a atingir a pretendida melhoria. É necessário perceber quais os recursos existentes e necessários e como estes poderão ser utilizados da melhor maneira.

Regra geral, a gestão destes sistemas é feita por um elemento ou departamento responsável de segurança, qualidade e ambiente afecto à unidade de negócio ou instalação. Este define requisitos, planos de acções e recomendações de auditorias externas ou internas, cabendo depois à Manutenção dar suporte, respondendo com as intervenções e acções dentro do seu campo de acção.

A título de exemplo, segue um quadro na tabela 2 que reúne e relaciona as principais actividades geridas pela Manutenção e respectivo enquadramento legal. Como se pode observar, grande parte

das actividades acabam por ser reguladas por legislação ou regulamentos internos que surjam para cumprimento das obrigações de segurança e ambiente.

Tabela 2 – Exemplo Prático, responsabilidade Manutenção na estratégia corporativa de SSA.

Tema	Actividades Relacionadas ► <i>Inputs</i> à Manutenção
<p>AMBIENTE</p> <p><u>Controlos Diversos Efluentes</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> a) <u>Emissões Gasosas</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Garantir medidas de autocontrolo com monitorização das emissões gasosas das caldeiras (D.L. nº 78/2004 [12]); ➤ Plano de Manutenção preventiva da central térmica com medição parâmetros de queima para garantir enquadramento legal dentro das VLE admitidos; b) <u>Recursos Hídricos</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Descarga de águas residuais potencialmente contaminadas é feita através de caixas separadoras. Garantir a integridade e bom funcionamento dos sistemas de separação e condução de águas oleosas; ➤ Plano de inspecção e limpeza das caixas separadoras; c) <u>Resíduos</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Sensibilizar aos empreiteiros as políticas de separação de resíduos durante as intervenções e em oficina (D.L. nº 366-A/97) [13]; ➤ Durante o planeamento de obras e intervenções ter em conta a minimização de resíduos e garantir que estes são devidamente encaminhados; d) <u>Energia</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Sensibilizar empreiteiros à racionalização de energia; ➤ Plano de “combate” às fugas da rede de ar comprimido; ➤ Plano de verificações de parâmetros de queima das caldeiras para a redução de consumos.
<p>SEGURANÇA & QUALIDADE</p> <p><u>Inspecção a Equipamentos</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verificação das condições de segurança, gruas, empilhadores, linhas de vida de inspecção a tanques por empresa certificada (D.L. nº 50/2005 [14]); ➤ Inspecção a manguelinas abastecimento de combustível por organismo creditado; ➤ Inspecção a equipamentos de segurança individual e colectivos por empresa da especialidade e devidamente creditada (aparelhos de medição atmosferas, sistemas de detecção de gases, sistemas de respiração autónoma, coletes salva-vidas); ➤ Inspecção periódica às ferramentas da oficina utilizando modelo interno; ➤ Plano de inspecção interno aos equipamentos operativos onde haja exposição de operadores/humanos, bombas, posto de abastecimento de carros, tanques; ➤ Inspecção a tanques de combustível; ➤ Inspecção e registo de equipamentos críticos; ➤ Existência de uma série de equipamentos sobre pressão sujeitos a inspecções periódicas (D.L. nº 90/2010 [15]), caldeiras, tubagens e depósitos ar comprimido; ➤ Verificação e aferição metrológica por organismo creditado dos equipamentos de medição; <p><u>Inspecções de Segurança</u></p> <p><u>Inspecção Equipamentos Sob Pressão</u></p> <p><u>Rede Gás</u></p>

	<p><u>Doméstico</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Inspeção por empresa da especialidade e organismo creditado (Portaria .nº 362/2000 [16]); ➤ Existência de um responsável pela instalação eléctrica, inspeção com relatório de segurança onde há medidas a implementar e acompanhar pela Manutenção; <p><u>Instalações Eléctricas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medição de terras e circuitos equipotenciais; ➤ Manutenção ao PT por empresa da especialidade; ➤ Seguimento de medidas no âmbito das auditorias ATEX (D.L. nº 236/03 [11]); <p><u>Aferições e calibrações metrológicas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Aferição de contadores de combustíveis; ➤ Controlo metrológico de tanques; ➤ Aferição de básculas; ➤ Aferição de ferramentas de medida (fitas sondagem; medidoras de terras, multímetros, chaves dinamométricas e outros equipamentos).
<p><u>Objectivos e Metas dos SGASST & SGSPAG</u></p>	<p>Redução Sinistralidade – Meta “0”</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Garantir a sensibilização de todos os intervenientes nas actividades de Manutenção; ➤ Planeamento de intervenções-Avaliação de risco dos trabalhos, garantir as medidas de mitigação do risco necessárias – utilização de Autorizações de Trabalho; <p><i>Safety Walks</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Garantir que as medidas para as não conformidades levantadas têm seguimento, prever soluções juntamente com a segurança e qualidade, garantir a sua implementação; <p><i>Situações de Potencial Acidente</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Garantir medidas para as não conformidades levantadas ou propostas de melhoria identificadas têm seguimento, prever soluções juntamente com o responsável SQMA e garantir a sua implementação; <p>Análise HAZOP em contexto ocupacional (x cenários/ano)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Dar apoio às análises HAZOP (em fase de operação) dos cenários em estudo, dar seguimento e garantir implementação das medidas salvaguarda quando estas estão relacionadas com equipamentos, estruturas ou directamente com actividades de Manutenção; <p>Cumprimento do Plano de Manutenção a 100%</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ A Manutenção tem como seu dever garantir o cumprimento a 100% do plano de Manutenção proposto e este deverá estar perfeitamente adaptado às políticas SSA adoptadas.

Conforme consta na tabela anterior, as responsabilidades e grau de responsabilidade nos sistemas de gestão de saúde, segurança e ambiente é bastante elevado e são os principais *inputs* das actividades da Manutenção das instalações juntamente com as exigências legais, tornando a gestão da Manutenção complexa.

Complexa não só pela variedade e quantidade de acções, enquanto os temas legais ou corporativas tem muitas vezes características sistemáticas e permitem o seu planeamento, mas também por vezes pela imprevisibilidade exigindo uma boa gestão de recursos e tempo.

Exemplos concretos existentes de acções não previstas [17]:

- **Safety's Walks** – Pequenos passeios pela instalação com pessoal externo e interno com a perspectiva de observar comportamentos seguros ou inseguros. Serve como mecanismo para identificar e registar áreas de melhoria;
- **Situações de Potencial Acidente** – Registo de potenciais incidentes, um pequeno registo aberto a qualquer pessoa que visite ou opere na instalação caso verifique situações de melhoria ou que possam comprometer a segurança;
- **Análises HAZOP** (*Hazard and Operability Study*) – É uma técnica estruturada e sistematizada para análise de riscos, que permite identificar potenciais perigos e problemas operacionais como consequências de um desvio de uma das variáveis do processo em relação aos parâmetros definidos como normais de operação. Esta análise é feita com a subdivisão das operações sobre o qual um grupo de pessoas analisa os possíveis desvios das variáveis de operação [18].

Expostas e conhecidas as relações da Manutenção com as políticas de gestão que regem a exploração de um terminal petrolífero, é possível definir, orientar e justificar a acção de Manutenção. São conhecidas as directrizes que orientam e priorizam a Manutenção e quais os objectivos que esta terá que responder.

Percebe-se que neste sector, todas as actividades de Manutenção são reguladas por um lado pela premissa “clássica” da Manutenção de ter os equipamentos operacionais de acordo com as acções preventivas sistemáticas ou condicionadas estipuladas pelo fabricante ou utilizador ao melhor custo. Por outro, temos o peso da responsabilidade de fazer cumprir todas as exigências e objectivos legais e corporativos dos sistemas de gestão em vigor. Podemos assim definir três grandes objectivos para a Manutenção deste tipo de instalações e os mais utilizados nesta indústria:

- Operação com máxima regularidade;
- Máxima eficácia a nível de custos;
- Garantir os níveis e objectivos de SSA previstos.

Alcançar o nível de SSA o mais alto possível significa manter a integridade dos equipamentos e instalações para que o risco existente durante a operação ou nas actividades de Manutenção seja praticamente “zero”.

Após a abordagem destes pontos, facilmente percebe-se também a importância de existir na Manutenção mecanismos de suporte para medir e avaliar o seu desempenho para que sejam garantidas oportunidades de melhoria. Este tema será abordado no próximo capítulo mas é possível, a este ponto, perceber a sua importância. Por outro, verifica-se que o peso dos sistemas de gestão e SSA que condicionam em grande parte a gestão Manutenção. Não podendo ignorar-se o outro lado da “balança”, a eficácia e regularidade operacional que, juntamente com a utilização dos recursos, exigem a adopção do “conceito de integração” na sua estratégia oferecendo a tal visão holística pretendida. Tema exposto no capítulo seguinte.

3. IMPLEMENTAÇÃO DE UM CMMS E MONITORIZAÇÃO DE DESEMPENHO

3.1. CMMS – Recurso Fundamental Para a Melhoria

O tema estratégia e integração mostram a importância da existência de uma estrutura de suporte às actividades da Manutenção. Se por um lado existe a complexidade dos sistemas e políticas de SSA, por outro têm-se as questões de operacionalidade e económicas que geram uma série de necessidades e fluxos de informação que a Manutenção deverá ser capaz de gerir.

Deverá existir um recurso que possa reunir toda a informação e tratá-la para que sejam tomadas decisões orientadas segundo objectivos pré-definidos e em segurança, ainda mais em instalações de armazenagem de produtos combustíveis onde as falhas poderão ter consequências graves. Este recurso é um CMMS.

A figura 8 ilustra como a capacidade de processamento e gestão da informação se traduzem numa óbvia melhoria da acção da Manutenção.

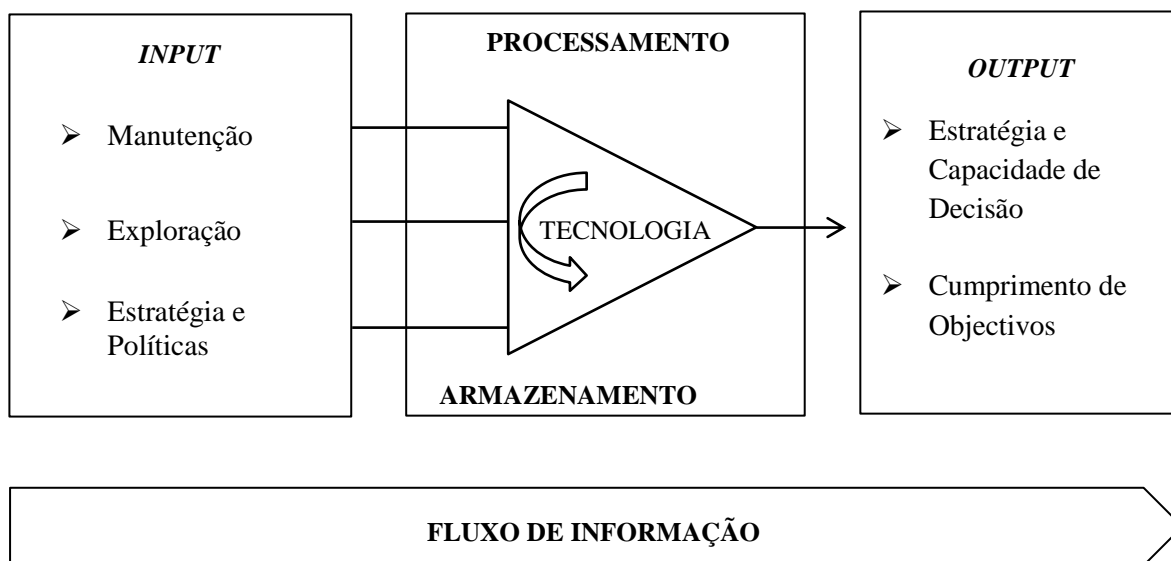


Figura 8 – Fluxo de informação na Gestão da Manutenção.

Actualmente, o ambiente de carácter certificador e as exigências aplicadas neste campo, obriga à revisão contínua aos programas de gestão, processos, equipamentos, ferramentas ou outros apoios às actividades de produção. Especialmente em empresas que façam utilização intensiva dos seus activos ou que, dadas as características das suas operações e produtos que operam, para além disponibilidade e fiabilidade dos seus activos mais críticos, é indispensável uma tecnologia eficaz

para gestão da informação. Obviamente, a necessidade de implementação poderá ser justificada por uma série de argumentos que serão adaptados à realidade de cada empresa. De seguida a tabela 3 que fornece vários exemplos de objectivos após uma implementação de um CMMS.

Tabela 3 – Exemplo dos objectivos de um CMMS após a sua implementação, (adaptado de [19]).

Objectivo Global	Objectivos Manutenção	Requisitos Corporativos	Requisitos do Sistema
Aumentar a capacidade	Melhorar Disponibilidade, Fiabilidade e Manutibilidade	<p>Reduzir avarias</p> <p>Reduzir paragens não previstas</p> <p>Aumentar produção</p> <p>Reduzir imprevisibilidade</p> <p>Reduzir avarias reincidentes</p> <p>Monitorização do desempenho</p>	<p>Sistema de suporte para análise de histórico de avarias;</p> <p>Gestão de documentação e informação referente aos equipamentos;</p> <p>Lista de materiais e peças de reserva dos equipamentos;</p> <p>Sistema de suporte para as rotinas preventivas de Manutenção.</p> <p>Monitorização de variações de desempenho dos equipamentos;</p> <p>Monitorização das OT's atribuídas aos equipamentos e verificar avarias sistemáticas;</p> <p>Acompanhar custos e desempenhos associados aos equipamentos;</p> <p>Acompanhar custos e desempenhos nos trabalhos efectuados.</p>
Redução de Custos	Redução Geral dos Custos de Manutenção	<p>Redução do trabalho despendido</p> <p>Redução de <i>stock</i> imobilizado</p> <p>Redução do trabalho não planeado</p> <p>Redução de suportes físicos (papel)</p> <p>Monitorização do Desempenho</p>	<p>Facilita o trabalho e o controlo;</p> <p>Facilita a preparação do trabalho e materiais;</p> <p>Análise da utilização de inventários;</p> <p>Análise do investimento em inventário;</p> <p>Melhor acompanhamento dos trabalhos programados;</p> <p>Suporte a análise de fiabilidade e condição;</p> <p>Geração de OT's de forma automática;</p> <p>Geração de Ordens de Compra de forma automática;</p> <p>Rastreabilidade de custos e imobilizações.</p>

A necessidade de ter uma Manutenção mensurável, auditável e com evidências de existência exigidas pelos sistemas de SSA requer a implementação de um CMMS; esta deve ser realizada com a consciência de garantir um CMMS o mais prático possível e enquadrado com a realidade da instalação/fábrica/activo a gerir, de modo a fácil aceitação e utilização pelas pessoas.

Os CMMS podem ser muito complexos, tal como a sua instalação. O mercado tem-se apercebido deste aspecto e, por isso, o desenvolvimento de novas aplicações desta natureza tem sido realizada com base no princípio de que quanto mais simples e rápido for o processo de implementação melhor. Regra geral, considerando os projectos com alguma relevância, é importante recorrer a especialistas para o trabalho de assessoria durante o processo de implementação. Muitas das vezes, o serviço pode ser prestado pelo próprio fabricante ou por algum especialista na área. Em alternativa, e dependendo do à vontade e disponibilidade existente ao nível das instalações de armazenagem, este processo também poderá ser feito recorrendo a recursos internos, ficando apenas as questões mais específicas dependentes de técnicos especializados.

É frequente já existirem sistemas de gestão informáticos implementados nas empresas, os ERP; ainda assim, surge a questão de saber ao certo quais as vantagens que existem, para a função da Manutenção em particular e para a empresa em geral, de existir um sistema paralelo dedicado, tal como o caso típico da utilização de sistemas paralelos ao ERP *SAP* para a gestão da Manutenção. O mesmo se aplica nos casos em que se equaciona a renovação de um sistema dedicado existente,

“Vale a pena? Justifica o investimento?”

É importante compreender que o CMMS, por si só, é apenas uma ferramenta que estará sempre dependente das pessoas que o utilizam e das operações ou processos de produção a que a Manutenção assiste. A integração destes últimos dois pontos é essencial durante o processo de selecção e implementação da solução; caso contrário, ficar na expectativa de que a migração dos processos existentes para a nova estrutura irá dar origem a resultados, muito provavelmente dará origem à automatização de processos ineficientes. Ou seja, é preciso aproveitar estes processos de implementação para requalificar e melhorar os existentes – para isso é necessário conhecer muito bem os fluxos existentes, defini-los e não transportar os “maus costumes” do passado para o programa.

Existem inúmeros sistemas utilizados no apoio à gestão da Manutenção. No entanto, esta variedade de oferta pode tornar-se um obstáculo no momento de decidir qual o que dará as melhores respostas às necessidades e que irá devolver o maior retorno sobre o investimento feito.

3.1.1. Retorno do Investimento- Justificar a Implementação

Nesta primeira parte, será abordada a questão do retorno sobre o investimento feito para aquisição de um *software* para a gestão da Manutenção. Este é o ponto crucial numa fase inicial, o que deverá ser sempre muito bem analisado pelo responsável de implementação de um CMMS, dado que quase sempre será confrontado pela administração/chefia sobre o mesmo.

Quem propõe – que neste caso também assume a implementação – tem que ter a capacidade de argumentação para as típicas perguntas das chefias e/ou departamentos de compras e financeiros:

... “ *Como é que se paga?*”, “ *Onde é que se poupa?*”, “ *Vale a pena o investimento?*”.

Esta parte do trabalho pretende oferecer algumas considerações para esta fase embrionária do projecto. É muito importante compreender que o sucesso da implementação, e posterior utilização de um CMMS, não está apenas dependente das suas funcionalidades e capacidades mas também de outras questões ligadas à orgânica da própria empresa como o ambiente de trabalho, o nível de estudos e envolvimento das pessoas que o irão utilizar; a cultura e o nível de disciplina na Manutenção estão fora do âmbito do CMMS e poderão comprometer a sua capacidade de criar o valor expectável. Por isso, é vital não olhar para o *software* como um substituto de uma estratégia e objectivos para a função da Manutenção mas sim como um facilitador de decisões.

De seguida, é apresentado um gráfico sobre a análise a vários projectos de implementação de CMMS, onde é verificada a capacidade de gerar valor após implementação [20]. Este gráfico tem como base o valor *ROI* (*Return On Investment* – Retorno do Investimento), que é um indicador que avalia a eficiência de um investimento e que segue a fórmula:

$$ROI = \frac{(\text{Ganhos do Investimento} - \text{Custo de Investimento})}{\text{Custo de Investimento}}$$

Do gráfico da figura 9, é possível observar que 50% dos casos admite não ter criado nenhum tipo ROI, 28% não atingiu o nível de ROI pretendido e que apenas 22% atingiu o nível pretendido. Do ponto de vista económico-financeiro, apenas uma pequena parte dos casos houve uma implementação de sucesso. Ou seja, ainda que a implementação tenha sido tecnicamente bem – feita e agilizar o fluxo de trabalho de Manutenção, a mesma não estar associada a nenhuma criação de valor.

Esta abordagem ao ROI serve mais para ajudar a compreender que o CMMS por si só dificilmente cria valor, tornando muito difícil justificar uma implementação pelo seu retorno financeiro. As expectativas de retorno deverão estar viradas para o resultado global da Manutenção após a implementação do CMMS e esta estará dependente do seu dimensionamento, implementação e exploração.

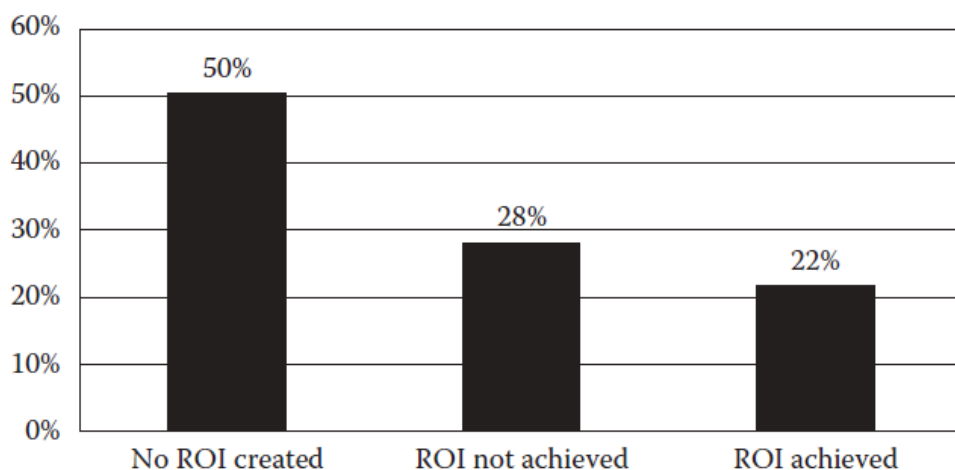


Figura 9 – Análise do ROI na implementação de um CMMS, (adaptado de [20]).

Como tal, é fundamental ter as necessidades, funções e fluxos muito bem definidos, bem como ter em consideração os recursos e mentalidades existentes, de modo a que se consiga um dimensionamento adequado.

Os CMMS existem como ferramenta de suporte ao gestor da Manutenção para gestão de trabalho, tomada de decisões e apresentação de resultados. Não são soluções que, por si só, criem valor, pretendendo substituir pessoas ou processos, mas sim um suporte complementar a uma actividade. No caso específico destas instalações, a exigência e pressão para o cumprimento dos objectivos de SSA serão muito atenuados com a existência de um CMMS.

3.2. Implementação do CMMS

Antes de iniciar uma consulta para aquisição, é importante compreender o que exigir ao mercado e perceber que o programa irá gerir uma série de transacções ligadas por ordens de trabalho. A estas transacções poderão estar associadas manutenções planeadas, avarias, recursos humanos e materiais. É importante definir estes fluxos se estes ainda não existirem e, no caso de já existirem, é uma boa altura para identificar e resolver eventuais problemas para depois dimensionar o CMMS de acordo com as reais necessidades. Os fluxos apresentam-se como uma visão geral destas transacções envolvidas na gestão do trabalho, gestão de sobressalentes e/ou outro recurso e seus processos previstos.

Em suma, foram definidos os seguintes fluxos que compõem a realidade das actividades da Manutenção e que fazem parte do modelo de gestão genérico das actividades de uma instalação de armazenagem:

- Fluxo definido geral para OT's na gestão da Manutenção, com associação com os custos materiais e de pessoal;
- Fluxo Manutenção Sistemática;
- Fluxo Manutenção Não Sistemática;

Este processo de definição será um dos primeiros passos a tomar na implementação e talvez um dos mais importantes. Uma vez configurado no programa, este irá percorrer estes ciclos, automatizando os processos e garantindo o fluxo de informação e rastreabilidade entre eles. Estes fluxos, por seu turno, são algo mutáveis ao início, necessitando de reflexão e da participação do pessoal envolvido neles em todos os níveis. Conforme referido anteriormente, o CMMS é apenas uma ferramenta e os seus resultados estão directamente dependentes do sucesso deste processo.

A figura 10 apresenta os três passos que compõe o processo de implementação de um CMMS identificado neste trabalho.

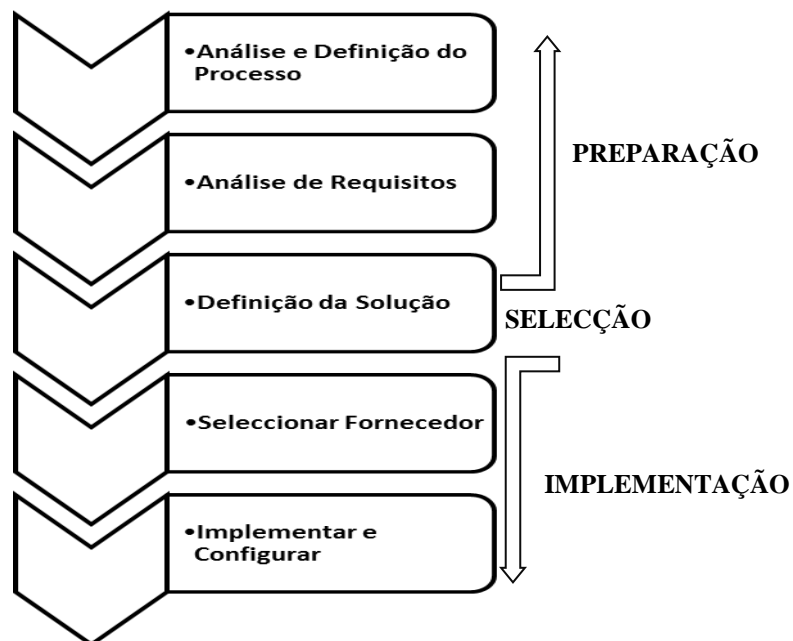


Figura 10 - Processo de Implementação de um CMMS (adaptado de [20]).

3.2.1.Preparação – Análise e Definição dos Processos e Fluxos da Manutenção

Conforme referido anteriormente, este será o primeiro grande passo no processo de implementação e é absolutamente crítico. Todos os passos devem ser escrutinados em detalhe e os circuitos devem ser perfeitamente compreendidos tanto na gestão de trabalho como na gestão de armazém e compras, se aplicável.

Tal implica fazer um levantamento de todos os processos, nomeadamente à informação que é transmitida e as cadeias de comando envolvidas. Neste ponto, aproveita-se para desenvolver uma solução melhorada, fazendo um confronto com os problemas actuais que necessitam de ser colmatados e como um novo processo os poderá contornar. Por exemplo, durante a emissão de OT's, deve ser garantido que esta foi emitida e entregue à pessoa designada para executar uma determinada função, visto que antes era um problema frequente a não rastreabilidade no processo de atribuição de trabalhos.

É muito provável que não exista uma solução à medida que encaixe perfeitamente nos processos definidos, mas o facto de estes existirem ajuda no processo de customização do fornecedor do produto. Naturalmente, a customização tem um custo e resta saber se esta valerá a pena; é de sublinhar que as soluções muito customizadas por vezes sofrem nas actualizações aos CMMS, dado que, geralmente, as actualizações fornecidas pelos fabricantes estão apenas preparadas para as soluções mais *standards* [21] [19].

De referir também que, conhecendo o mercado, as funcionalidades e limitações destas ajudam a definir um processo enquadrado com necessidades realistas. Assim, salvaguarda-se o risco de não existir nenhum CMMS capaz.

De seguida, são apresentadas as características e os fluxos que definem a acção típica da Manutenção num terminal armazenagem. Estas servem como exemplo e, obviamente, variam de instalação para instalação, com a dimensão e os recursos existentes. A capacidade de melhoria da gestão da Manutenção poderá surgir de várias formas nestes fluxos e, por isso, a importância da existência de uma estrutura que permita o registo e posterior análise de informação recolhida. Este é um tema que está mais relacionado com a gestão da Manutenção em si do que com a implementação de um CMMS. Em contrapartida, evidencia a importância deste tema neste contexto. Na figura 11 é representado um fluxo geral para as OT's com associação de custos ou recursos.

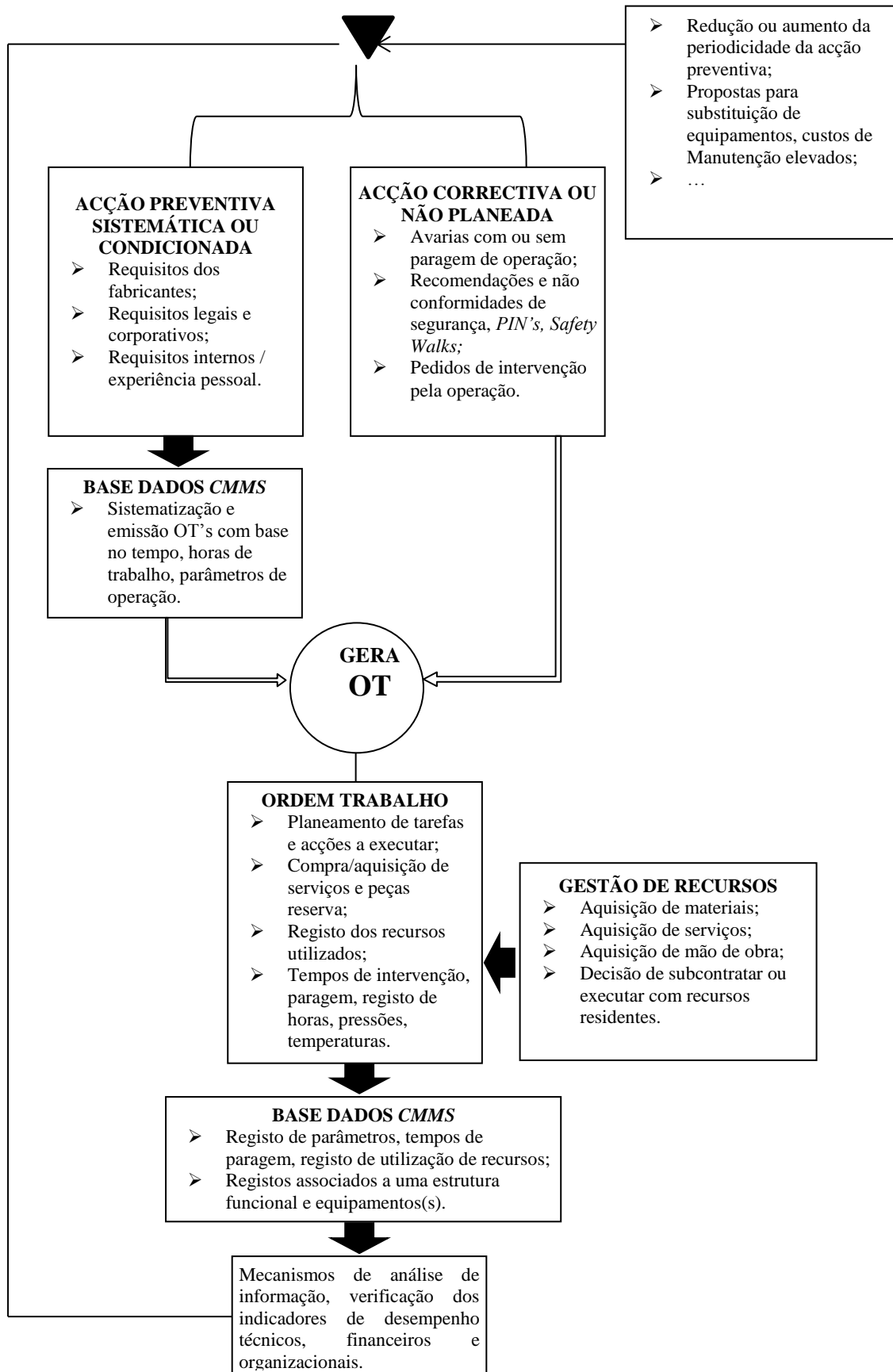


Figura 11 – Exemplo do fluxo para a gestão de OT's e associação de recursos.

3.2.1.1. Manutenção Sistemática

O fluxo da Manutenção sistemática consiste, fundamentalmente, no conjunto de acções que poderão ser sistematizadas em *software*, sejam estas requisitos legais e/ou de fabricantes, práticas internas ou definidas a nível corporativo. Por norma, estas incluem-se no frequentemente designado plano de Manutenção e são frequentemente representadas por ciclos, visto repetirem-se de forma sistemática em função do tempo ou outra grandeza, conforme ilustrado na figura 12.

A acção preventiva é uma das grandes preocupações dos sistemas de SSA no âmbito da Manutenção; juntamente com a garantia de comportamentos seguros dos operadores, serve como uma das principais acções para que sejam mitigados ao máximo os riscos de falha da operação.

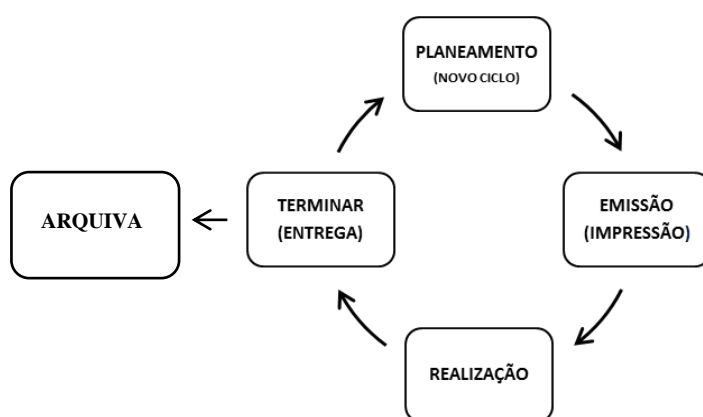


Figura 12 – Esquema para a acção preventiva da Manutenção.

A acção define-se como um ciclo fechado, por ser repetida de acordo com a sua natureza sistemática ou condicionada que poderá ser planeada ou motivada segundo critério definido por fabricantes do equipamento, requisitos/ imposições legais, imposições internas definidas por alterações do modo de operação ou requisitos corporativos. Incluem-se nesta definição todos os trabalhos planeados de inspecção a equipamentos, calibrações, aferições, inspecções obrigatórias de segurança e saúde, revisões a equipamentos, monitorizações de valores de consumos, temperaturas, deslocamentos ou outros parâmetros.

Na presente dissertação, a acção da Manutenção sistemática foi dividida nos seguintes passos.

Planeamento

- Fase onde são definidas a origem e o tipo de trabalho preventivo. Foram criados vários tipos por forma a facilitar a sua identificação. Exemplos: Sistemático, Sistemático Contratado, Condicionado, Lubrificações;
- Previsão/planeamento da data de início, qual o tipo de trabalho e executante;

- Prever medidas de segurança;
- Definição de tarefas, recursos a utilizar e prever tempos de imobilização para instruir o executante;
- Poderá já existir uma previsão de custos.

Emissão

- Fase em que define a data de início e qual o executante do trabalho, podendo este último ser recurso da casa, empreiteiro residente ou empresa da especialidade. É a fase em que se inicia o trabalho;
- No caso das OT's Sistemáticas, é também a fase em que os registos de inspecção são impressos e registado a quem foi atribuído o trabalho, de modo a garantir que há permanente rastreabilidade do executante e data da sua execução.

Realização

- Fase em que são registadas as acções, recursos utilizados (movimentação de materiais, humanos), registadas medições e tarefas executadas;
- *Input* de informação.

Terminar/Encerrar

- Data de término do trabalho;
- Estão incluídos todos os recursos necessários, custos e tempos de imobilização;
- Alguns custos pendentes poderão ser incluídos nesta fase;
- É nesta fase que facilita evidenciar os trabalhos que já foram entregues e executados, mais concretamente os trabalhos de inspecção atribuídos em formato papel às equipas residentes;
- O encerramento apenas deve ocorrer aquando da certeza do término do trabalho, dado que já não haverá necessidade de imputar qualquer recurso, tempo ou custo. É a fase em que os registos digitais, papel ou evidências de intervenção de empresas externas (registos próprios) são arquivados;

3.2.1.2. Manutenção Não Sistemática

Acção Não Sistemática, é toda aquela que não está prevista ou planeada pela Manutenção e que poderá ter várias origens, desde as avarias em equipamentos, acções provenientes dos próprios sistemas de gestão SSA ou mesmo da acção condicionada.

Para que sejam feitas análises, é também necessária a existência de uma estrutura de registo de eventos, com um fluxo bem definido para que todos saibam as suas responsabilidades no decorrer deste e que toda a informação necessária às análises de incidências fique registada.

Nas acções desta natureza, o fluxo para a Manutenção mantém as mesmas etapas mas definidas de uma forma linear, visto que são acções que têm início num evento não previsto e que a sua resolução, à partida, não irá gerar um evento igual ao inicial.

Planeamento

- A origem destas acções pode surgir de várias formas, nomeadamente de pedidos de intervenção, de acções de melhoria de segurança, da operação e/ou resultantes de inspecções, de audits, de verificações, de obras de investimento ou qualquer outra de carácter não previsível;
- Definir que como será feito o trabalho, tarefas associadas, recursos a utilizar e previsão de custos;
- Prever medidas de segurança a serem aplicadas;
- Definir o executante, isto é, será feito com recursos da casa ou por via de subcontratação de serviço externo;
- Prever uma data de início e duração da intervenção;
- Definir criticidade e prioridade do trabalho.

A Figura 13 esquematiza a noção de algo que não repete, ao contrário do ciclo sistemático apresentado anteriormente. À partida, não estarão previstas acções com a mesma resolução e nas mesmas condições.

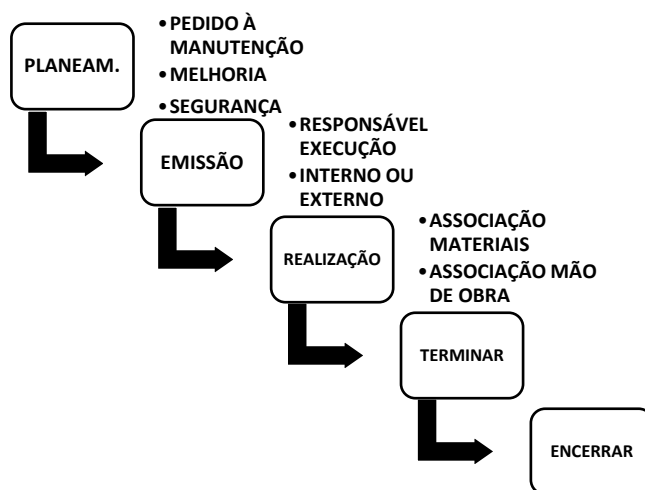


Figura 13 - Esquema para a Manutenção correctiva/não planeada.

Emissão

- Definir a data real de início e entregar a intervenção ao executante;
- Inteirar o executante do trabalho a fazer e definir as medidas de segurança. Necessidade de indução de segurança, caso seja a sua primeira vez na instalação.

Realização

- Fase em que são registadas as acções, recursos utilizados (movimentação de recursos materiais e humanos), registo de medições e tarefas executadas;
- *Input* de informação.

Terminar

- Data de conclusão do trabalho;
- Estão incluídos todos os recursos necessários, incluindo custos e tempos de imobilização;
- Alguns custos pendentes poderão ser incluídos nesta fase;
- O encerramento apenas deve ocorrer quando há a certeza do término do trabalho, fase em que já não há necessidade de imputar qualquer recurso, tempo ou custo. Fase em que os registos digitais, papel ou evidências de intervenção de empresas externas (registos próprios) são arquivados.

Encerrar

- Encerrar quando todas as acções e análises forem feitas e garantir que existe aprendizagem e mecanismos de salvaguarda para prevenir avarias semelhantes.

A definição deste tipo de fluxos da acção da Manutenção, juntamente com a utilização de um CMMS, é base para a melhoria deste tipo de actividades. Não só pela possibilidade de existir informações para registo de desempenho e posterior fundamentação de decisões mas também por possibilitar:

- Utilização de um sistema de priorização para a gestão do trabalho de acordo com a criticidade, optimizando recursos existentes;
- Permitir a análise a avarias oferecendo medidas de salvaguarda e evitar reincidências.

Ambos os pontos serão aprofundados mais à frente no próximo capítulo nos temas da gestão do trabalho com base na criticidade e de análise aos modos e efeitos de falha.

3.2.2. Análise de Requisitos e Funções

Este ponto serve como conclusão ao ponto anterior. Após a boa definição dos processos e fluxos de informação, é necessário avaliá-los e perceber a sua viabilidade. Nesta fase são identificados os tipos de aplicações e funcionalidades que o *CMMS* tem que ter para que este responda às necessidades previstas. Esta parte é importante para confrontar as necessidades com o que o mercado tem para oferecer, procurar uma solução bem dimensionada e com funções adaptadas à realidade.

3.2.2.1. CMMS, ERP ou EAM

É importante referir que existem no mercado soluções para adaptadas às dimensões da empresa e daquilo que se quer gerir. Nesta parte do trabalho são abordados, exclusivamente, os programas para a gestão de Manutenção, os designados *CMMS*. Existem também os programas para gestão financeira e organizacional de empresas que muitas vezes contempla módulos de *CMMS*, estes são divididos por dois grupos, os *ERP* (*Enterprise Resource Planning* – Programas para planeamento e gestão dos recursos da empresa) por o exemplo, o *SAP* ou os *EAM* (*Enterprise Asset Management* – Programas para a gestão de activos), sistemas mais actuais e virados para o conceito de gestão de activos, como é o caso do *Maximo* da *IBM*.

Nos *ERP*, estes muitas vezes são desenhados para dar respostas aos administradores financeiros e estando apenas vocacionados para a gestão financeira para diferentes áreas. São muitas vezes vendidos pacotes adicionais para complementar a Manutenção mas a sua existência é, fundamentalmente, para tornar o produto meramente mais atractivo e responder à procura do mercado nesta área.

Este ponto da presente dissertação pretende justificar a utilização de um *CMMS*. Acontece muitas vezes que após a instalação do *SAP*, no caso específico da Manutenção, os módulos são demasiadamente complexos, de utilização pouco amigável e de terminologia pouco adaptada à área técnica da Manutenção. O argumento é simples: o módulo dedicado à Manutenção oferecido por esta empresa é complexo, exige bastante dedicação e a sua utilização teria mais custos do que benefícios. Faria sentido em instalações mais complexas e de maior dimensão, por exemplo uma refinaria. Os *CMMS* regra geral têm duas grandes vantagens sobre os *ERP* [19] [21]: por um lado uma adaptação fácil aos processos de Manutenção existentes e não o contrário e, por outro, uma utilização mais simples e adaptada a quem participa nas actividades de Manutenção. Naturalmente, os *CMMS* estão focados nos equipamentos e na gestão do trabalho, enquanto os *ERP* estão focados na gestão financeira e integridade do negócio não podendo o primeiro substituir o segundo, eventualmente apenas o complementar.

3.2.2.2. Requisitos e Funções

De seguida, é apresentada uma lista de algumas das principais funções para a gestão da Manutenção, funções essas que devem ser previamente analisadas antes de iniciar a procura no mercado de soluções adequadas de CMMS. Devem ainda ser avaliadas as reais necessidades existentes e que teriam utilização nas instalações.

Gestão da Documentação – Informatização e automatização da gestão da documentação associada aos equipamentos e instalações para facilitar o fluxo de trabalho. A criação de valor neste ponto é reconhecida por agilizar um processo de moroso que é a associação e gestão da documentação, reduzindo os recursos necessários e garantir a validade e actualização de documentação de forma automática.

Gestão do Fluxo de Trabalho – Depois de definidos os fluxos de trabalho sistemático e não sistemático, o programa deverá ser capaz de incorporar os fluxos definidos ajudando na gestão de todo o processo, permitindo que toda a informação referente a decisões/autorizações seja rastreável e fique devidamente registada. No caso particular da entrega de tarefas, é fundamental saber a quem e quando foi entregue, quais as autorizações de trabalho associadas e o desenvolvimento de trabalho.

Gestão dos Registos (OT's) – Serve como base de armazenamento para os salvaguardar ao longo do ciclo de vida útil. A existência de um sistema de registos é muito importante para que haja evidência de que um qualquer evento foi realizado em determinada altura. Um dos principais requisitos para um sistema de registos é a capacidade para criar e gerir registos, garantindo que não existem alterações não autorizadas por meio de um sistema de encriptação ou assinatura digital e que qualquer alteração a estes fique sempre registada. Este é o ponto que o torna credível aos olhos de auditorias, definido nesta dissertação como “encerradas” nos fluxos da Manutenção. A partir deste ponto não são aceites alterações ou modificações nos registos.

Criação de Relatórios – Em qualquer actividade existe a necessidade da criação de relatórios para diversos tipos de eventos, sejam estes relacionados com a gestão de pessoas ou de carácter organizativo, técnico (compilação de dados referentes a indicadores de desempenho ou financeiros. Existência de um sistema de criação de relatórios, que os crie de forma automática com a informação previamente definida. Conseguem-se uma poupança considerável, uma vez que a compilação de dados, se possível, é feita em tempo real, garantindo informação pertinente a qualquer altura.

O gráfico apresentado na figura 14 mostra as funcionalidades consideradas como as mais importantes de um CMMS a partir de um estudo feito nos Estados Unidos a cerca de 700 empresas [20] onde foi pedido que reportassem acerca do processo de implementação do seu CMMS. É

possível observar que as funcionalidades mais procuradas são as associadas aos processos de Manutenção, gestão do trabalho (preventivo ou correctivo) e gestão de sobresselentes. Neste estudo verifica-se que, durante o cruzamento entre as funcionalidades mais importantes e nível de satisfação destas, a utilização de KPI's é das funcionalidades que apresenta maior nível de insatisfação. Os autores referem-se a uma falha dos CMMS e, neste campo, tem havido um grande desenvolvimento, existindo actualmente ferramentas que facilitam a utilização dos KPI's.

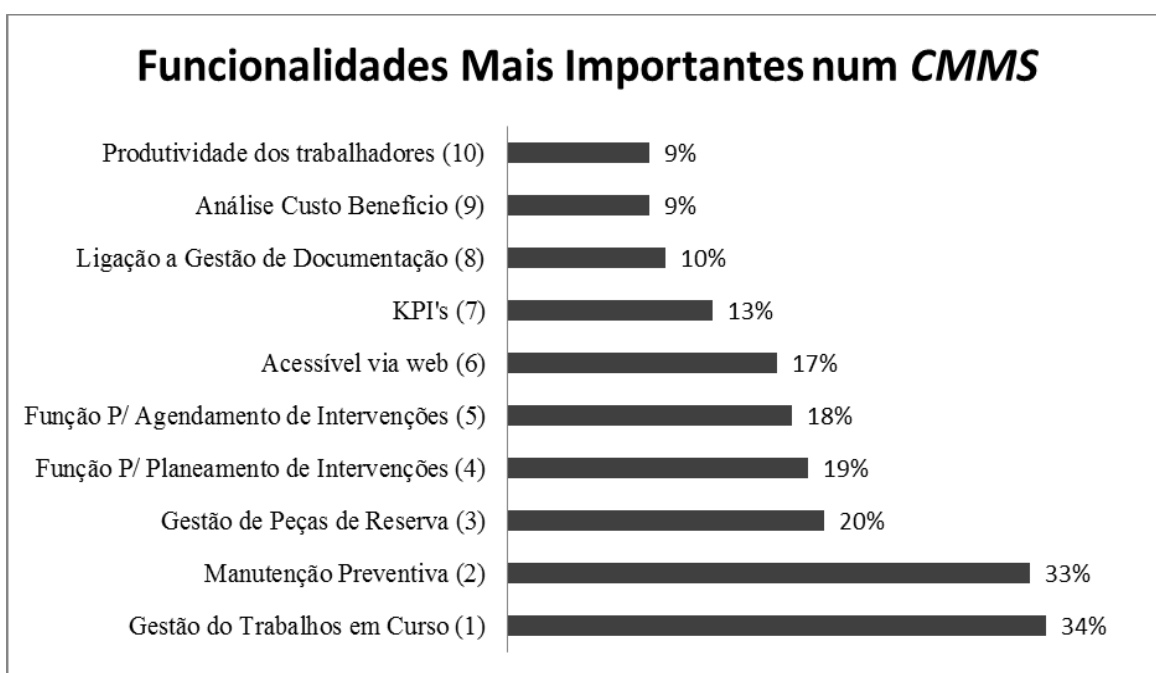


Figura 14 - Funcionalidades mais importantes num CMMS, (adaptado de [20]).

O autor do presente trabalho é da opinião que neste campo dos indicadores, o grande problema é que facilmente se reconhecem os que interessam à monitorização e medição de desempenho da função mas dificilmente se consegue avaliar os seus resultados. Isto deve-se muitas vezes à má qualidade dos dados avaliados ou à falta da existência de um termo de comparação.

Naturalmente, a identificação de funcionalidades é apenas um guião para as funções que poderão ser expectáveis de um programa. O que estes programas poderão fazer pela Manutenção daria uma lista demasiadamente extensa e é importante não cair na tentação de exigir certas funções que depois não terão aplicação prática, tornando a aplicação desnecessariamente mais cara e complexa.

Não obstante, são possíveis mais funções, dependendo do grau de sofisticação do programa a instalar e perceber até que ponto essas funções serão realmente necessárias. É possível a criação de estruturas via *web* que permitem soluções mais leves para a empresa, com a criação de registos em *cloud*, devendo este tipo de arquitectura deve ser bem avaliado, atendendo às preocupações relacionadas com a segurança dos dados armazenados, integração com outras plataformas da

empresa, cumprimento legal e qualidade da ligação à rede. Há, inclusive, uma norma que preconiza a livre transferência de informação entre equipamentos e informações provenientes das operações – MIMOSA – que consiste na criação de uma rede totalmente *web* que permita a comunicação entre equipamentos, permitindo a integração eficaz entre operação e Manutenção.

No âmbito da Manutenção condicionada, há CMMS que oferecem ferramentas para monitorização da condição dos equipamentos. Na maioria dos modos de falha existe um pré-aviso que indica que o equipamento está a caminho de um estado de falha. Parâmetros de equipamentos, sistemas ou processos são monitorizados de forma periódica de forma a detectar estes sinais de falha eminente. São sistemas com um potencial enorme na prevenção que permitem avaliar e planear as intervenções de forma pró-activa. É importante compreender muito bem o que existe disponível em mercado e avaliar custo benefício destas ferramentas antes de avançar para a sua aquisição.

Há também a questão da portabilidade, onde muitas vezes há soluções que permitem a execução das tarefas previstas de rotina e não previstas com recurso a computadores portáteis ou *tablets*. Regra geral, trabalham como substitutos do papel e permitem muitas vezes a recolha em tempo real de informação referente ao controlo da condição (exemplo: a recolha diária de temperaturas numa chumaceira). Têm a grande vantagem de reduzir a existência de papel e reduzem a probabilidade de erro, uma vez que a informação é colocada directamente no programa.

No entanto, o que se pretende desta avaliação de funcionalidades é criar uma lista das funções básicas. É uma boa forma para não sobre ou subdimensionar a solução e não desperdiçar dinheiro. Neste caso específico, o caso das funções de compras e gestão de *stocks* e fornecedores é um exemplo de uma função que não se justifica quando já existem ERP's.

3.2.3. Seleccionar Solução e Processo de Implementação

Neste ponto já é possível fazer a selecção do fornecedor, dentro das soluções consultadas. Para além da resposta às necessidades funcionais, existe também a questão do custo de implementação; neste aspecto é necessário especial atenção aos valores envolvidos, pois muitas vezes poderão estar separados por custo de implementação, licenças de utilização e custos de formação de quem os vai utilizar. Em suma, fazer um balanço do custo e benefício da solução pretendida.

O gráfico apresentado na figura 15 resume os pontos considerados como os mais importantes durante o processo de selecção e implementação de um CMMS com base no estudo anteriormente referenciado [20].

O resultado deste gráfico revela que:

- Como consequência dos programas do passado, que eram muito complexos e de utilização muito pouco intuitiva, ter um CMMS tornou-se prioritário. Actualmente os programas existentes são muito mais acessíveis para quem os utiliza;
- Ter o suporte da gestão de topo é fundamental, visto serem estes que decidem o investimento e outros recursos disponíveis. A viabilidade da implementação passará sempre por aqui;
- Só com a definição dos processos muito bem estruturada é que se poderá procurar uma melhoria da Manutenção com recurso a um CMMS.

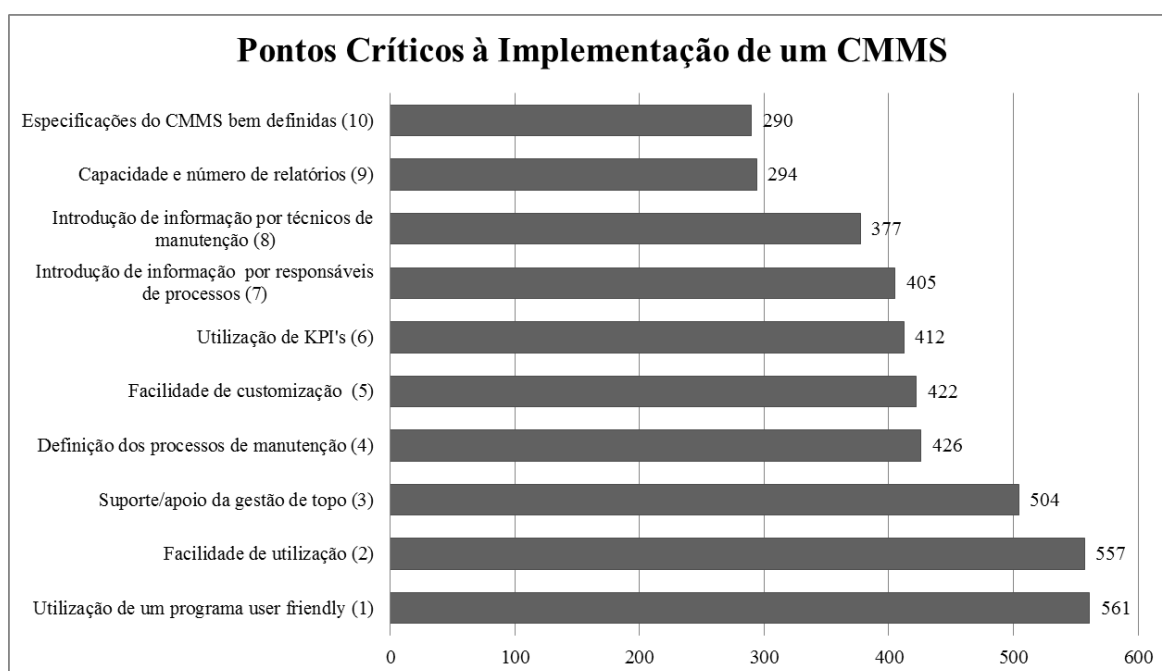


Figura 15 – Pontos Críticos à Implementação de um CMMS, (adaptado de [20]).

3.2.4. Criação da Estrutura Hierárquica e Funcional

Uma das bases para o desenvolvimento de uma estratégia para a Manutenção é o estabelecimento de uma estrutura hierárquica e técnica para equipamentos, sistemas e subsistemas que compõem estes equipamentos. Este é um conceito simples mas fundamental, tanto no âmbito do desenvolvimento de uma estratégia, base para uma gestão eficaz da Manutenção e para uma implementação de um CMMS, conforme referido anteriormente. É um tema de fundamental importância no âmbito da Manutenção e será desenvolvido mais a fundo no próximo capítulo contextualizado na Manutenção RBM.

A hierarquia técnica fornece uma perspectiva geral sobre os equipamentos e mostra a relação “física” entre equipamentos que estão ligados entre si dentro de um sistema funcional, sejam estes válvulas, instrumentação, bombas de lubrificação ou tubagens.

A figura 16 ilustra isso, um pouco à imagem de uma estrutura administrativa e financeira de uma empresa, onde se individualiza e define-se para cada centro de custo as menores secções a eles agregadas.

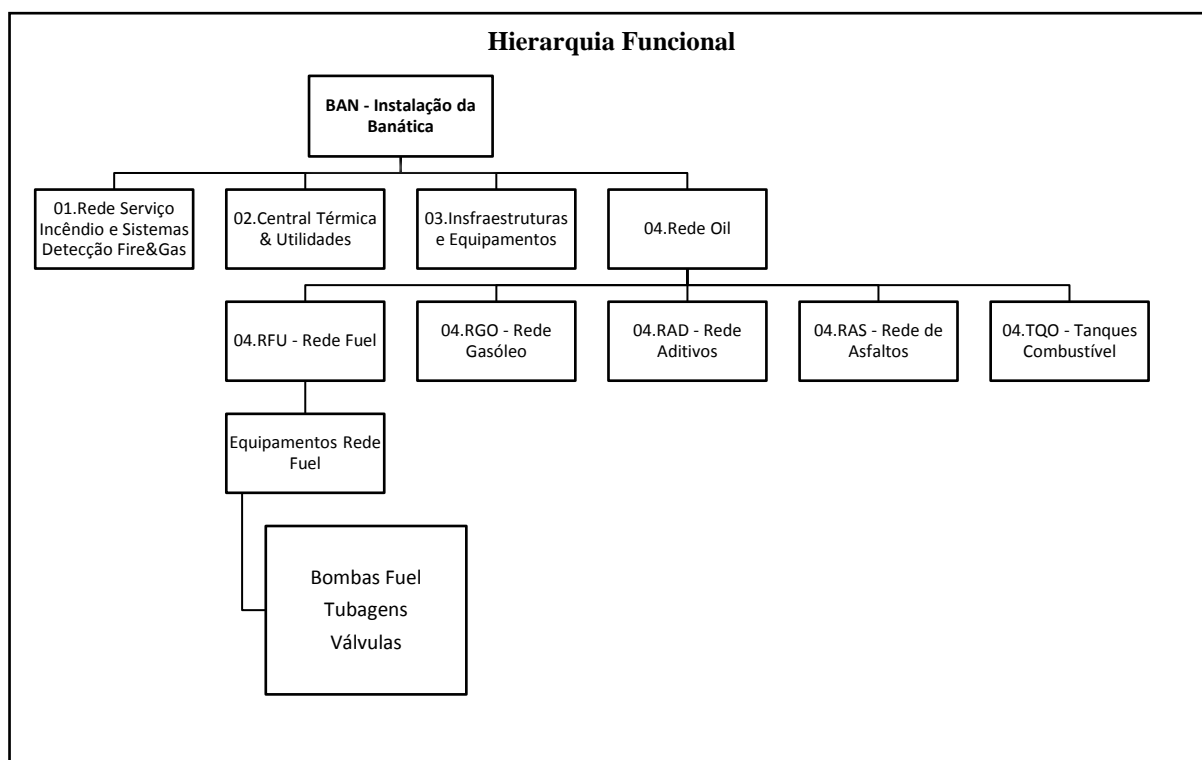


Figura 16 - Exemplo de uma estrutura funcional e técnica e ligação entre estas.

A hierarquia funcional é a ligação lógica em diagrama dos vários sistemas que constituem uma instalação, fábrica e as subfunções de cada um destes sistemas. Por exemplo, podemos ter um sistema de utilidades que incorpora uma série de subsistemas, produção e distribuição de ar comprimido, produção e distribuição de vapor, produção e distribuição de fluido térmico. Ao nível de componentes, poderá ser apresentada a interligação entre estes e como estes interagem; por exemplo, uma botoneira de corte de bomba ou de corte de um grupo de bombas, a função de cada um deste equipamento será colocada hierarquicamente de acordo com o nível de actuação respectivo.

Ao nível da gestão de trabalho, rastreabilidade de custos e utilização de recursos com distribuição de acordo com uma estrutura criada, só é possível com uma hierarquia e só assim será possível a utilização de indicadores e medir o desempenho de forma lógica.

O conceito de estruturar hierarquicamente é simples mas é base para um *input* de informação lógica e coerente com a funcionalidade de uma instalação num CMMS que permita uma correcta análise e posteriormente e implementar medidas de melhoria à função Manutenção.

3.2.5.Implementação, Configuração e Transição

Uma vez seleccionado e adquirido o sistema, é possível iniciar o processo de configuração para que este fique adaptado aos processos definidos. Nesta fase, serão sempre possíveis algumas melhorias não previstas nas fases anteriores, visto que, durante a implementação, surgem sempre oportunidades para melhoria. Durante o contacto com este processo, é normal que sejam sugeridas novas práticas ou que algumas se mostrem ineficientes, sendo o cruzamento com a experiência do consultor que apoia a implementação de grande importância. Na existência de alguém externo para a configuração e instalação, é muito importante que este conheça bem os processos existentes e que seja sensível a estes, para que não sejam os processos adaptarem-se ao CMMS mas sim o contrário.

O tempo de implementação vai estar dependente de uma série de factores, dimensão da instalação, complexidade dos fluxos para a gestão da Manutenção, planos de Manutenção existentes, sensibilidade de quem lidera a implementação e experiência da empresa que fornece a solução em instalações semelhantes.

Durante a fase de testes, é importante que estes sejam feitos com o máximo de pessoas que estarão envolvidas na sua utilização do dia-a-dia. Os testes deverão ser feitos de forma a aproximá-los ao máximo da futura realidade e corrigir erros e defeitos de configuração que possam aparecer. Aproveitar também para receber comentários das pessoas não envolvidas no teste; estando estes numa posição externa ao processo de configuração, poderão levantar questões pertinentes que conduzam a melhorias, estando a fase de transição a acompanhar a fase de teste.

A fase de teste servirá essencialmente para:

- Suavizar o processo de implementação não provocando eventuais choques ou identificando resistências à mudança;
- Sensibilizar as equipas de Manutenção de que a implementação não é uma ferramenta de controlo de trabalho mas sim para facilitar a gestão, garantir que as intervenções são registadas e que há um follow-up destas, evitando o seu esquecimento;
- Integrar todas as pessoas na Manutenção, sendo estas influenciadas/influenciadores no CMMS a implementar. É importante que os pedidos de intervenção fiquem registados para tenham continuidade mas também para que possa haver uma gestão destes, das prioridades, definição de recursos e planeamento do trabalho;

- Envolver todas as pessoas para que haja sugestões e que o contributo de todos para a Manutenção seja o caminho para uma operação mais segura e rentável em benefício de todos.

A título de exemplo, apresentam-se na tabela 4 algumas acções incluídas nas principais etapas de implementação do CMMS ManWinWin.

Tabela 4 – Exemplo do processo de implementação do CMMS ManWinWin.

Etapa	Principais Acções
Execução de estrutura hierárquica e funcional	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamento de equipamentos e características; • Identificação dos equipamentos críticos; • Identificar ligações hierárquicas, definir sistemas e subsistemas; • Compilar informação técnica relevante de acordo com a estrutura definida, arquivos dossiers, desenhos, etc...; • Compilar informação existente do plano Manutenção preventiva, fichas de inspecções e revisões dos equipamentos.
Definição da Solução – Implementação	<ul style="list-style-type: none"> • Definir fluxos da Manutenção e quais as funções da solução a implementar; • Preparar e prever os indicadores adequados à realidade; • Selecccionado a solução ManWinWin apenas o módulo Manutenção; • Verificar quais os intervenientes na utilização do CMMS e responsabilidades de cada um; • Implementar ManWinWin, antes da sua implementação oficial.
Implementação	<ul style="list-style-type: none"> • Introdução dos planos de Manutenção preventiva definidos para equipamentos e grupos de equipamentos; • Definição de calendário das sistemáticas, definir quais os equipamentos afectos a cada uma das acções preventivas definidas; • Introdução de contadores para definir acções preventivas; • Indicadores de Desempenho, definir informação que deverá constar nos registos (OT's).
Teste Transição	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar condições de utilização; • Perceber as dificuldades e capacidade de adaptação das pessoas.

De um modo geral, a chave para o sucesso em todo e qualquer processo de implementação são as pessoas, devendo estas acompanhar e envolver-se em todo o processo desde o início. Durante o processo de definição de processos, introdução de melhorias, selecção de funcionalidades e requisitos é importante que haja a consulta e abertura para sugestões de todas as partes que estejam directamente associadas a este – caso do pessoal da Manutenção – ou indirectamente – caso do pessoal da operação/produção.

3.2.6. Factores Condicionantes à Implementação

Segue uma pequena lista de alguns factores expectáveis que poderão condicionar a implementação de um CMMS.

Falta de planeamento e definição de objectivos para a implementação – Deverá haver uma lista de pretensões da empresa que defina o que se espera após a implementação. Um processo destes não poderá acontecer sem que se saiba o que vai acontecer ou o que vai ser feito, sendo necessário uma planta que indique quais as etapas a percorrer e quais as funções que deveram ser executadas. Deverá ser criada uma lista de objectivos quantificáveis que permitam avaliar os vários passos da implementação.

Falta de Integração – No caso em que haja a necessidade de integrar o CMMS com outra plataforma existente, principalmente para a recolha de informação, é necessário que o fornecedor dê garantias da capacidade de integração. No caso de grandes projectos, onde exista a necessidade de integrar muita informação referente a recolha de históricos de utilização de equipamentos, movimentações de inventários de armazém e gestão de centenas de OT's, se esta integração não for eficaz, muito provavelmente, por melhor que seja o CMMS, este não conseguirá cumprir a sua função. Para estes casos de integração é recomendável a utilização de especialistas na área por ser um trabalho extremamente complexo.

Falta de Compreensão da Estratégia para a Manutenção – A gestão da Manutenção é um processo e o CMMS é utilizado para automatizá-lo e dar suporte a este. Se a estratégia para a Manutenção não está bem definida e existirem problemas nos processos a esta associados esses processos estarão reflectidos no programa. Neste caso, uma vez mais, todo o pessoal envolvido na Manutenção deverá ser consultado, deverão ser feitas visitas no terreno e compreender os problemas existentes. A partir daqui, deverá ser criada uma estratégia que neste caso passa por uma melhoria da Manutenção. Todos os grupos de interesse deverão estar envolvidos a todos os níveis para que todos os problemas sejam identificados e apresentadas soluções a estes.

Informação de Má Qualidade – Este é um problema que existe muitas vezes como consequência do factor anterior, falta de integração das pessoas. É importante que haja conhecimento e esforço para que a introdução de informação referente ao trabalho efectuado, utilização de recursos, materiais, serviços e humanos, seja feito de forma coerente e precisa para que haja confiança na utilização do CMMS. Para que isto aconteça é necessário uma boa acção de sensibilização e proceder a uma série de testes de forma a compreender as dificuldades de interpretação para que não seja comprometida a introdução de dados. Não nos podemos esquecer que muitas vezes esta informação é proveniente de papel que muitas vezes é mal preenchido fazendo com que o esforço de implementação tenha sido em vão. Após implementação, será recomendável a criação de vários

níveis de utilização para que haja uma espécie de controlo na introdução de dados. Ou seja, haver um responsável de processo, que confirme e avalie continuamente os dados antes de estes serem introduzidos de forma permanente.

Estes sistemas são uma ajuda fundamental no processo de melhoria da Manutenção, principalmente se falarmos em grandes indústrias, ou operações complexas que exijam recolha e análise de muita informação para que sejam tomadas medidas neste sentido. Terá que existir a sensibilidade e razoabilidade para perceber se esta ajuda não for necessária, pois nesse caso, não será necessária a implementação do CMMS. No caso particular das instalações de armazenagem, não será tanto a complexidade da operação ou dos equipamentos o argumento mas sim resposta aos sistemas de Gestão de SSA e uma base para monitorização de desempenho oferecendo um caminho para a melhoria.

Frequências de falha, tempos de paragens por avaria assim como outros parâmetros de desempenho estão dependentes dos planos de Manutenção previstos, se são executados dentro de prazo e se são executadas as acções previstas. Por sua vez, um plano de Manutenção bem definido está dependente de informação tal como, históricos de avaria, reparação, utilização e documentação associada para que a sua incidência a nível de periodicidade e utilização de recursos seja fundamentada [21].

Independente do custo associado a este, uma correcta gestão da informação tem um impacto directo nos resultados da Manutenção, seguem alguns dados interessantes [19]:

- Um aumento de eficácia de 50% para 85%, resultado do aumento de disponibilidade dos equipamentos;
- Fiabilidade (MTBF) pode aumentar em cerca de 20%;
- Aumento da produtividade pode aumentar de 20% a 30%;
- Utilização de materiais poderá ser reduzida de 20% a 50%.

A utilização de um CMMS facilita a gestão de recursos, o que levará a uma melhoria na sua utilização sejam estes internos ou externos, materiais ou humanos, traduzindo-se numa redução geral nos custos da Manutenção e melhorias na operacionalidade, segurança e ambiente da instalação. Como é referido anteriormente, o CMMS é apenas uma ferramenta que serve de suporte aos fluxos de informação que fazem parte do universo da gestão da Manutenção. Sozinho não faz nada, mas as acções tomadas pelo gestor de Manutenção, com base na sua utilização, sim.

Inevitavelmente, a informática actualmente é uma ferramenta indispensável para qualquer negócio, actividade ou processo e muito poucas são as actividades que ainda a dispensam. O mundo da

Manutenção não é excepção, é uma actividade que exige conhecimento e análise de informação proveniente de áreas muitas vezes complexas (informação proveniente de monitorização da condição de equipamentos, análise de avarias para conhecimento de causa, etc...). A utilização de *softwares* para a gestão da Manutenção ou outro tipo de ferramentas de análise e gestão, irá melhorar a eficiência e será o caminho para quem procura a melhoria desta actividade.

Esta parte do trabalho tenta justificar e apresentar a implementação de um CMMS como uma ferramenta imprescindível para quem procura “subir a fasquia” das suas actividades de Manutenção neste tipo de instalações. Permite uma gestão dos fluxos de Manutenção definidos e criação de uma estrutura que dê condições para a monitorização do desempenho, oferecendo a verdadeira perspectiva estratégica.

O processo de implementação irá variar de caso a caso, assim como a escolha do tipo e dimensão do CMMS. Previamente ao processo de implementação é importante que seja feita uma reflexão sobre a verdadeira necessidade e explorando muito bem quais os pontos em que são esperadas melhorias, para que o processo de procura e selecção resulte numa solução que preencha as necessidades. Este mercado é vasto e existem muitas opções desde as mais simples para a gestão de trabalho ou calendarização da MP ou as mais complexas, que permitem a integração de informação para controlo da condição e tomada de decisão de forma automática.

O autor do presente trabalho é da opinião de que, onde a utilização de CMMS seja novidade e não haja uma cultura bem vincada em relação à Manutenção, sejam sempre seleccionadas soluções mais simples, automatizando-se apenas os processos mais bem conhecidos e que, após um período de amadurecimento, se possam procurar e prolongar a automatização a outros processos. E claro, nunca esquecer as pessoas que envolvem o processo, o envolvimento destas é o factor chave para o sucesso.

3.3. Medição de Desempenho da Manutenção

Um dos objectivos para a gestão da Manutenção deste tipo de instalações proposto neste trabalho, juntamente à implementação de um CMMS, é a implementação de um modelo para avaliação de desempenho. A premissa é que sejam criadas as condições para tornar a actividade de Manutenção mais clara e mensurável, onde as suas acções sejam tomadas com base em factos. E assim, os recursos existentes serão utilizados da melhor maneira, dando resposta à estratégia e aos objectivos ligados às políticas de SSA e da empresa em geral.

Este tema não surge após o processo de implementação do CMMS por acaso. Só existindo uma estrutura organizacional bem concebida e implementada para gerir a Manutenção, será possível

desenvolver aspectos relacionados com o seu desempenho e que ofereçam uma perspectiva estratégica.

Seguem-se algumas características e capacidades esperadas com a utilização de indicadores de performance KPI's (*Key Performance Indicators*) na gestão da Manutenção [22]:

- Capacidade de avaliar a contribuição da Manutenção para os objectivos estratégicos corporativos;
- Avaliar pontos fracos e fortes da estratégia de Manutenção implementada. Ter forma de avaliar esta informação para que surjam melhorias necessárias, capacidade e meios para medição do seu desempenho;
- Comparar e avaliar o seu desempenho em relação a outras práticas de Manutenção em instalações, empresas semelhantes. Manter-se actualizada cruzando-se com as melhores práticas;
- Acompanhar o desempenho da Manutenção e ter forma de medir o seu impacto tanto a nível técnico com a nível financeiro de uma forma holística.

Bem definidos, estes indicadores de desempenho passam a ser uma ferramenta essencial para a identificação de diferenças entre o que se pretende da Manutenção e a realidade em que esta se encontra ao nível de desempenho, oferecendo uma indicação do progresso e orientação para o caminho a percorrer. Podem também ser um importante elo de ligação entre a estratégia pretendida de SSA por parte da gestão da instalação e as decisões de Manutenção a tomar, oferecendo argumentação para iniciativas de melhoria.

De uma forma geral, os resultados da medição de desempenho promovem a orientação e a sensibilidade das pessoas aos objectivos de uma determinada actividade, neste caso particular a Manutenção.

De acordo com Parida & Kumar [23], seguem-se os argumentos mais importantes para justificar a implementação de indicadores de desempenho na Manutenção:

- Medição do valor criado pela Manutenção;
- Justificar investimento;
- Revisão à alocação e utilização de recursos;
- Monitorização de aspectos relacionados com segurança e ambiente;
- Orientar para uma cultura de gestão;
- Adaptável às novas tendências estratégicas a nível de operação ou Manutenção;
- Permitir mudanças a nível estrutural.

Pode-se partir do princípio do “só se gere o que se mede” ou “ só pode ser melhorado o que pode ser medido” para facilmente interpretar a importância destes indicadores de desempenho e a sua função.

Existe uma série literatura referente a este assunto que propõe uma série de KPI's e estruturas para a sua utilização na Manutenção com vários níveis de utilização, de acordo com a área de interesse. Neste trabalho foram utilizadas as categorias definidas na norma europeia NP EN:15341-2007 [24] que define 3 categorias principais para os indicadores. Para cada uma destas categorias, são propostos na norma um conjunto de indicadores.

- Indicadores económicos;
- Indicadores técnicos;
- Indicadores organizacionais.

Outra forma de os categorizar, mais comum no mundo da gestão, são os indicadores ***leading*** e os ***lagging***.

Leading – Monitorizam algo que está e que possa vir acontecer, usando a analogia de um semáforo, observando luz cor de laranja poderemos prever que o vermelho está eminente.

Logging – Monitorizam algo que já foi alcançado ou que já ocorreu, avaliam resultados provenientes de algo que já aconteceu. Estes são aqueles que retratam o que aconteceu e os que poderão sugerir ou orientar a Manutenção para a melhoria.

Os ***leading*** têm o potencial de prever ou prevenir situações não desejáveis que muitas vezes não são óbvias e estão mais associadas à gestão do trabalho em si [25]. Estas duas distinções serão descritas mais à frente e como se enquadram no processamento de actividades da Manutenção.

A figura 17 apresenta esta separação entre os dois tipos de indicadores e como estes se enquadram na acção da Manutenção, durante a sua execução, o processo de gestão, e após a sua execução, ou seja, os resultados dessa mesma gestão.

Apesar de existir muita informação acerca de indicadores a utilizar não existe uma metodologia para a sua aplicação ou utilização, terá que ser feita uma análise prévia da escolha de indicadores para a criação de um modelo de medição próprio. Modelo este que ofereça uma lista de indicadores que orientem as actividades de Manutenção aos objectivos propostos e ao nível pretendido.

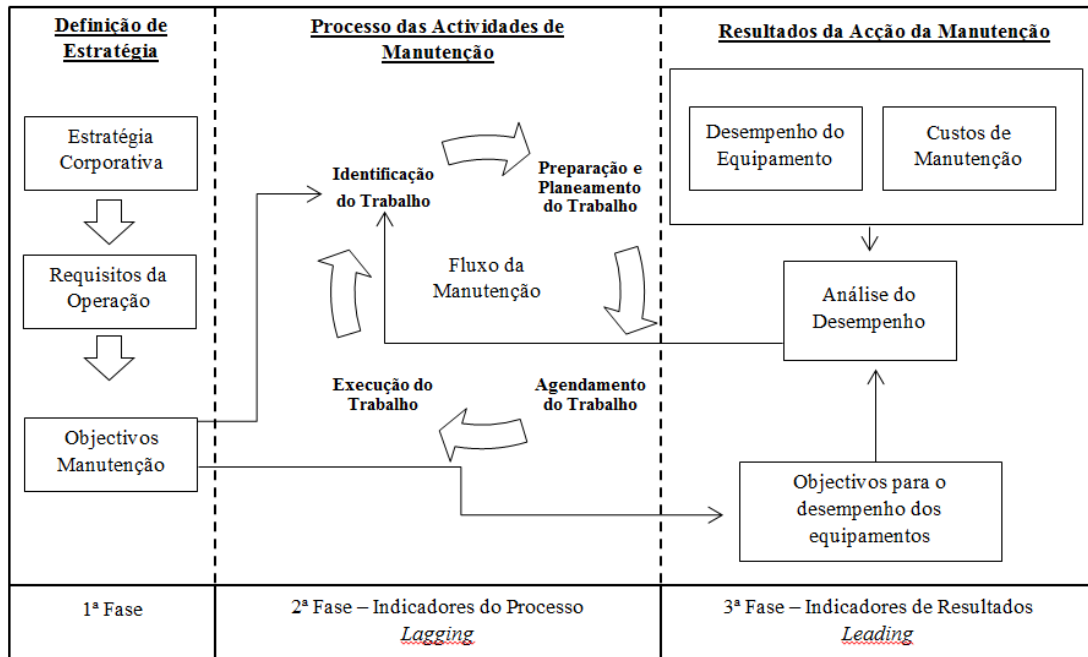


Figura 17 – Estrutura da medição de desempenho na Manutenção, (adaptado de [25]).

No caso das instalações de armazenagem, os sistemas de gestão adoptados de SSA serão determinantes na selecção de indicadores a utilizar, reflectindo o compromisso que existe com toda a parte da segurança com o desempenho e melhoria de processos.

3.3.1. Medição de desempenho da função Manutenção, definir o modelo

O modelo explorado é definido por Muchiri, *et al* [25], onde é descrito um modelo para a medição de desempenho, baseia-se na divisão da função de manutenção em 3 fases, ou secções, conforme indicado na figura 17. Na primeira fase é descrita a estratégia, objectivos e definidos indicadores para a Manutenção, assunto que desenvolvido no capítulo anterior. Ou seja, os indicadores deverão estar coerentes com as políticas e objectivos definidos para a Manutenção. Na segunda fase e terceira fase respectivamente são incorporados os dois tipos de indicadores, *leading* e os *lagging*.

Os *leading* são bons indicadores para o desempenho porque acompanham o processo de Manutenção quase em tempo real mas não retratam a eficiência com que são executadas as várias etapas. Para a eficiência os *lagging* cumprem a função avaliando os resultados do processo.

Na primeira fase, o modelo procura alinhar os objectivos da Manutenção com a estratégia corporativa, exactamente o que é descrito neste trabalho. Estes objectivos procuram ajudar o gestor de Manutenção a definir para metas para o desempenho e resultados dentro das expectativas para a Manutenção. Estas metas estão relacionadas com a condição dos equipamentos e respectivo desempenho, utilização dos recursos de Manutenção e custos associados.

Na segunda fase, o modelo apresenta o processo de Manutenção num ciclo definido por quatro etapas. Estas quatro etapas estão de certa forma incluídas dos fluxos de trabalho desenvolvidos durante a implementação do CMMS e enquadram-se na parte do planeamento e emissão dos trabalhos.

Este ciclo completa o processo e garante a eficácia das acções previstas para a Manutenção, seja estas de carácter preventivo ou correctivo. O modelo define que, para gerir estas quatro etapas, é necessário a criação de indicadores para cada um. Uma vez que a qualidade de cada uma destas etapas do processo de Manutenção são determinantes para os seus bons resultados, os indicadores relacionados com o processo de Manutenção são referidos como indicadores *leading* e fornecem informação ao gestor da qualidade do processo para cada uma destas etapas (*leading* neste contexto, como já foi referido, podem ser vistos como indicadores de “rumo”, indicam como o processo está a ser orientado e se o caminho está de acordo com o previsto).

Conforme referido anteriormente, estes quatro passos enquadram-se nos fluxos definidos neste trabalho para a gestão da Manutenção nas etapas de planeamento e emissão de OT's na utilização do CMMS, antes da sua realização.

- **Identificação do trabalho**, com base nos objectivos para a Manutenção, identificar a correcta acção a ser executado numa data definida;
- **Preparação e planeamento do trabalho**, são desenvolvidos procedimentos e OT's para as actividades identificadas. Esta envolve a identificação de recursos necessários para uma resposta eficaz e em segurança;
- **Agendamento do trabalho**, avalia a disponibilidade dos recursos contemplados na preparação e planeamento. Avalia também o impacto da intervenção na cadeia de produção, procurando fazer um balanço entre o tempo previsto para o trabalho e a melhor data para o executar minimizando perdas produtivas;
- **Execução do trabalho**, garante que o trabalho é executado de acordo com o planeado, data e tempos previstos.

Na terceira e última fase, assim que o processo esteja concluído, é necessário avaliar os seus resultados para um determinado período de tempo (semestral, anual, mensal, etc...). Os resultados a medir poderão ser dos mais diversos tipos, desde a condição dos equipamentos, custos de Manutenção para determinada instalação ou tipos de equipamentos ou a taxa de utilização dos recursos humanos e técnicos para a realização de tarefas específicas de Manutenção.

Sem menosprezar a importância da primeira fase, é nesta segunda onde são identificadas as falhas no desempenho e posteriormente nascem as medidas para a melhoria da Manutenção e o aumento de desempenho. Melhorias estas que podem ser a nível técnico (por ex. alterações a equipamentos ou componentes), financeiros (por ex. custos de Manutenção, custo total de Manutenção vs. custos de substituição de um equipamento) ou organizacionais (por ex. aumento de mão de obra contractada ou subcontratação). Esta análise ao desempenho e posterior identificação de falhas tem, na sua génese, a comparação de dados, análise de tendências e custos de Manutenção exigindo-se assim uma estrutura própria para recepção e análise de dados. Ou seja, a necessidade de um CMMS.

Todas estas fases têm a sua importância para o desenvolvimento de uma estrutura que suporte a medição e análise de desempenho da Manutenção. Ambos os indicadores sejam *leading*, associados ao processo da gestão de trabalho de Manutenção ou os *lagging*, associados aos resultados, fazem parte da medição de desempenho.

No caso concreto das instalações de armazenagem, em particular as mais pequenas, os indicadores com mais interesse no imediato estão associados a resultados pela necessidade de querer otimizar a acção da Manutenção e não tanto ao processo de gestão de trabalho. Até porque esta análise seria mais interessante em instalações maiores, onde o processo de planeamento de trabalho tenha maior peso; por exemplo, uma refinaria, onde exista uma amostra maior que permita avaliar de melhor forma as tendências. Independentemente de não ter aplicação prática neste caso em particular, estes serão desenvolvidos pelo seu eventual interesse em aplicações que possam surgir com a fusão da gestão da Manutenção de várias instalações numa só e onde a quantidade de trabalho em plano assim o justifique.

3.3.2. Indicadores Para o Processo de Manutenção (*Leading Indicators*)

O apuramento destes indicadores do processo de Manutenção, tem como principal objectivo aferir a eficiência desta função na gestão e planeamento das suas acções. A sua comparação com os mesmos indicadores de empresas ou de outras instalações do mesmo sector, habilita a Manutenção a posicionar a Manutenção e estabelecer objectivos quantificados por comparação.

Na tabela 5 é possível observar alguns exemplos de indicadores para a parte do processo de Manutenção, cada um enquadrado na sua categoria e com alguns valores recomendados. Bem como que, para cada etapa do ciclo de Manutenção, existem indicadores específicos com a capacidade de avaliar e controlar características diferentes.

Tabela 5 – Resumo de alguns indicadores referentes ao processo de Manutenção, (adaptado de [25]).

Categoria	Indicadores	UN	Descrição	Valores Recomendados
Identificação do Trabalho	Pró-actividade	%	H.H. gastas em trabalho pró-activo/ H.H. totais gastas	75%-80%
	Reactividade	%	H.H. gastas em trabalho reactivo/ H.H. totais gastas	10-15%
	Tempo p/ resposta	%	Nº de OT's respondidas <5 dias/ nº total ordens trabalho	80% dos pedidos
Preparação	Intensidade	%	Trabalhos planeados/ total dos trabalhos executados	95% de todos os trabalho
	Qualidade	%	Percentagem de novas intervenções após uma planeada	<3% de todos os trabalhos
	Tempo p/ resposta	%	Nº de OT's planeadas <5 dias/ nº total ordens trabalho	> 80% de todo o trabalho
Planeamento	Intensidade	%	H.H. planeadas / H.H. totais gastas	>80% das horas disponíveis
	Qualidade	%	Trabalhos executados com atrasos sobre o previsto	< 2%
	Eficiência	%	Trabalhos executados em tempo inferior ao previsto	> 95% de todo o trabalho
Execução	MTTR (<i>Mean Time To Repair</i>)	Horas	Tempo total de indisponibilidade/ nº avarias	
	Utilização de mão de obra	%	Tempo total de H.H. gastas / Total de H.H. disponíveis	> 80%
	Finalização de ordens trabalho	%	Nº de trabalhos executados / nº de trabalhos atribuídos	
	Qualidade	%	% de trabalhos executados que necessitam de nova intervenção	<3%

Pela tabela pode-se observar que os indicadores associados a avaliação do processo de Manutenção são de aplicação simples mas só têm valor quando são avaliados em tempo real para que ofereçam a sua capacidade de prever situações. Poderá ser interessante na óptica de querer comparar o desempenho das equipas de Manutenção de duas instalações, estando mais orientadas para a gestão do trabalho do que para o desempenho dos equipamentos.

3.3.3. Indicadores de Desempenho dos Resultados (*Lagging Indicators*)

Uma vez que este trabalho aborda a questão da melhoria, é importante existirem ferramentas que indiquem ao gestor de Manutenção que os objectivos propostos estão a ser cumpridos ao menor custo e, muito importante, na questão do sector petrolífero, com um nível de risco conhecido e aceitável. De uma forma resumida, conhecer a eficácia da Manutenção avaliando resultados da função Manutenção.

Nesta fase, conforme referido anteriormente, os indicadores *Lagging* entram em campo e são usados para a medição do desempenho do equipamento (indicadores técnicos) e custos da Manutenção (indicadores financeiros). Por decisão do autor deste trabalho apenas se irá focar sobre os indicadores técnicos. Neste trabalho, a questão do desempenho da acção da Manutenção e dos seus resultados são resumidos em 3 pontos, fiabilidade, disponibilidade e operacionalidade dos equipamentos.

3.3.3.1. Fiabilidade dos Equipamentos

Nesta parte é explicado um pouco o conceito de fiabilidade e procura integrar este como uma medida de desempenho da Manutenção, medidas para assegurar a fiabilidade e como estas são o factor de melhoria da acção de Manutenção. Numa instalação, garantir a fiabilidade dos seus equipamentos mais críticos é a base para uma operação mais segura e eficaz do ponto de vista operacional.

Um dos indicadores mais procurados e que mais se tenta melhorar na Manutenção de uma forma geral, é o tempo médio entre avarias de um determinado equipamento, o MTBF (*Mean Time Between Failures*).

Conforme é dito anteriormente, a taxa de avarias de um equipamento varia com o tempo de funcionamento de uma forma característica designada por “curva da banheira” representada na figura 15.

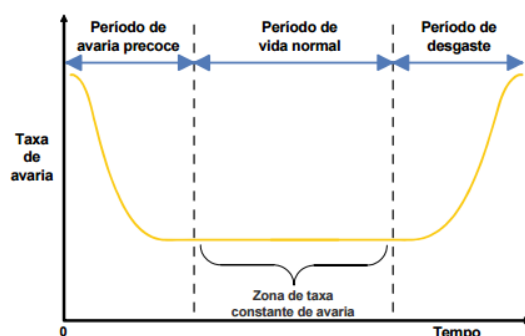


Figura. 15 – Evolução da taxa de avarias ao longo do tempo, (adaptado de [26]).

Na fase inicial, a taxa de avarias diminui com o tempo. Trata-se de um período de arranque, onde há maior probabilidade de ocorrerem defeitos de fabrico, má montagem, má operação devido a falta de experiência, etc. Numa segunda fase, a taxa de avarias é constante, ocorrendo avarias com carácter aleatório não imputáveis a causas específicas e que resultam de esforços que ultrapassam os máximos admissíveis ou condições externas adversas. O período final apresenta o crescimento exponencial da taxa de avarias devido ao desgaste inerente ao envelhecimento dos materiais.

A probabilidade de ocorrência de avaria e a sua distribuição ao longo do tempo é calculada pelas seguintes funções, que variam de acordo com a fase de vida. Para esta análise, considera-se apenas o período de vida útil, isto é, o período de vida normal conforme no gráfico da “curva da banheira”, por ser o mais significativo, o de maior duração e caracterizado por dispor de uma taxa de avarias constante ($\lambda = \text{constante}$) [6].

Esta taxa de avarias λ é dada pela expressão:

$$\lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ de Avarias}}{\text{Tempo total de funcionamento}}$$

O indicador de desempenho associado à fiabilidade, o MTBF, pode ser dado pela expressão:

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda}$$

MTBF é a medida básica para a fiabilidade de um equipamento ou sistema. A unidade costuma ser exprimida em horas. Quando maior o MTBF, maior a fiabilidade de um equipamento. A seguinte expressão [6] mostra esta relação:

$$\text{Fiabilidade} = e^{-\left(\frac{\text{Tempo}}{\text{MTBF}}\right)}$$

Para a probabilidade de ocorrência de avarias durante a vida útil poderá ser calculada através das expressões abaixo indicadas.

Distribuição de probabilidades (probabilidade acumulada) – Um equipamento ou conjunto de equipamentos considerados ao acaso, cuja probabilidade de vida seja igual ou superior a t , é dada pela expressão:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Densidade de probabilidades - Representa a densidade de distribuição da frequência de ocorrências (avarias) e está relacionada com o intervalo de tempo t , ou seja, a probabilidade de que a falha venha a ocorrer no tempo entre o instante t e $t + \Delta t$ e é dada pela expressão:

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

Fiabilidade - que se pode designar como a probabilidade de um equipamento garantir o seu funcionamento durante determinado tempo, probabilidade de um equipamento não falhar até um tempo t e é dada pela seguinte expressão:

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t}$$

Um equívoco vulgar em relação ao MTBF, é dizer que é equivalente ao número estimado de horas de funcionamento antes de uma falha do sistema, ou seja, ao “tempo de validade”. Não é invulgar, no entanto, ver um número de MTBF na ordem de 1 milhão de horas e seria irrealista pensar que o sistema poderia funcionar ininterruptamente 100 anos sem uma única avaria. Estes números são muitas vezes elevados por se basearem na taxa de avaria do produto durante o seu período de vida útil ou “vida normal” e parte-se do princípio de que as avarias se manterão a esta taxa indefinidamente. Durante esta fase, conforme é referido anteriormente, os equipamentos têm a mais baixa – e constante – taxa de avarias.

Na realidade, o facto de ser um produto perecível determinaria uma vida mais curta que o número apresentado de MTBF. Como tal, não deve ser estabelecida correlação directa entre o tempo de vida do produto e a taxa de avaria ou o MTBF [26].

Veja-se por este exemplo:

“Numa instalação existem 50 bombas centrífugas.

Durante 1 ano avariaram 2 bombas, logo, a taxa de avaria λ (deste ano) é de $2/50 = 0,04$ (4%)

O MTBF será $1/\lambda = 50$ anos”

Como é óbvio, de acordo com este exemplo, o MTBF é um número que não relaciona o tempo de vida útil de um equipamento. Considerar 50 anos como a vida útil para uma bomba é algo que dificilmente caberá na cabeça de alguém que lide com este tipo de equipamento, até lá os equipamentos desgastam-se e a probabilidade de terem uma avaria aumenta.

A fiabilidade é algo que é intrínseco aos equipamentos e só pode ser definido na fase de aquisição/projecto. Eventuais alterações efectuadas, durante uma fase de operação, com o objectivo de melhorar o seu desempenho a nível de fiabilidade poderão ter bons resultados mas também poderão ter custos acrescidos se desenvolvidos numa fase mais “adulta”.

Fora do âmbito das melhorias ou alterações aos equipamentos, que obrigam a avaliar bem o custo benefício destas antes de avançar, existem algumas medidas que poderão ser tomadas de forma a garantir ou aumentar um determinado nível de fiabilidade.

- Utilização dos equipamentos abaixo dos valores limite de utilização. Comparar MTBF's reais e esperados e podemos perceber em ponto do ciclo de vida útil o equipamento se encontra;
- Proteger os equipamentos de sobrecargas e de agressões externas garantindo a vida útil esperada;

- Colocação de redundâncias nos processos críticos, associação de componentes em paralelo;
- Garantir o cumprimento dos planos de Manutenção preventiva e adaptá-los aos níveis de utilização.

3.3.3.2. Manutibilidade dos Equipamentos

Enquanto a procura do aumento da fiabilidade traduz-se na redução da frequência de avarias em equipamentos, a manutibilidade concentra-se em conhecer e diminuir o tempo da duração de avarias ou restabelecer o funcionamento no menor tempo possível definida pela variável MTTR (*Mean Time To Repair*). Esta avaliação poderá estar associada ao tempo mas também poderá estar associado ao custo de uma dada operação de Manutenção, cabendo agora escolher qual a óptica que mais interessa.

MTTR – Tempo médio requerido para diagnóstico e reparação de uma avaria até o devolver às condições de operação normais, ou seja, tempo médio da Manutenção correctiva. É uma forma simples de determinar a manutibilidade de um equipamento ou de fornecer informação referente à qualidade de resposta para resolução de uma avaria tipo. Este tempo inclui tempos de notificação, diagnóstico, reparação, calibração ou testes. O MTTR é definido por meio da seguinte expressão:

$$MTTR \text{ (distribuição normal)} = \frac{\sum_{i=1}^n TTR_i}{n}$$

Para o critério de avaliação da manutibilidade de um equipamento, poderá ser avaliado pela probabilidade (valor fixo que interesse avaliar) de um dado valor de TTR não ser ultrapassado, por exemplo, utilizando valores referência para reparações tipo. Este pode ser obtido através das seguintes expressões [27]:

$$TTR > MTTR + z \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \text{ onde,}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TTR_i - MTTR)^2}{n-1}}$$

A manutibilidade de um equipamento também poderá ser avaliada também na óptica organizacional ou económica, como a probabilidade de uma reparação não ocupar mais do que um determinado valor Horas Homem (H.H) ou a probabilidade desta reparação não custar mais do que um valor fixo em euros, utilizando os mesmos critérios do tempo. Existem formas mais fáceis de avaliar quais os equipamentos que mais consomem recursos e tal poderá justificar o investimento em melhorias que tornem a Manutenção mais económica.

Tal como na fiabilidade, a manutibilidade é algo intrínseco ao equipamento. De salientar também que algumas destas medidas poderão ser tomadas a qualquer altura do ciclo de vida de um

equipamento mas serão muito mais proveitosas se forem previstas ainda durante a fase de projecto e construção. Abaixo, são indicadas algumas medidas que podem contribuir para a manutibilidade de um equipamento.

- Instalação de equipamentos para a monitorização da condição e sistemas de alarme, atenuando as consequências, antecipando falhas catastróficas e reparações mais onerosas e demoradas;
- Ter em consideração a construção e implementação dos equipamentos para a substituição rápida de componentes e que facilitem as acções de inspecção;
- Normalização de equipamentos e por sua vez dos sobresselentes é sempre uma boa prática, aumenta a disponibilidade de peças e limita a variedade o que facilita na preparação das intervenções;
- Bom sistema de pós-venda, apoio técnico, disponibilidade para entrega de sobresselentes e garantir boas relações com fornecedores.

3.3.3.3. Disponibilidade dos Equipamentos

A avaliação da qualidade de um determinado serviço de Manutenção está relacionada directamente pelo número e tempo das avarias para um determinado equipamento ou instalação, ou seja, a sua disponibilidade. A qualidade associada à função da Manutenção será tanto maior quanto menor o número de avarias e o tempo para as reparar.

Esta ligação entre a qualidade da Manutenção e a disponibilidade dos equipamentos pode ser demonstrada pela Disponibilidade Operacional (Do) ou então pela Disponibilidade Intrínseca (Di).

- Do, relaciona o tempo entre intervenções de Manutenção previstas e não previstas (MTBM) e o tempo gasto em todas as acções de Manutenção- MDT (Mean Down Time) para um determinado período de tempo;
- Di relaciona o tempo entre falhas (MTBF) e o tempo gasto para reparar estas falhas (MTTR) e por o equipamento operacional.

Este poderá ser um ponto de interesse elevado na questão do desempenho da Manutenção das instalações. Uma das questões mais procuradas é perceber quais os equipamentos que têm a sua operacionalidade comprometida por paragens não previstas e onde a acção correctiva tem maior peso com especial incidência nos equipamentos de criticidade elevada. Por outro lado há o peso do custo da Manutenção dos equipamentos em geral, principalmente em equipamentos não críticos onde as incidências são mínimas e onde poderão ser reduzidos recursos.

Disponibilidade Operacional

$$Do = \frac{MTBM}{MTBM+MDT}$$

Onde:

MTBM (*Mean Time Between Maintenance*) – Total em unidades de tempo de trabalho de um equipamento a dividir pelo número de acções de Manutenção, previstas e não previstas para um determinado período.

MDT (*Mean Down Time*) – Valor médio, em unidades de tempo, de indisponibilidade de um equipamento. Inclui todo o tempo associado a reparações, preventivas e correctivas, atrasos de entrega de peças e outros atrasos associados a questões administrativas. Por outras palavras, é o peso de todas as actividades de Manutenção, ao contrário do MTTR que apenas contempla o tempo de reparação em caso de avaria.

É possível ver o Do como o peso das manutenções dos equipamentos na parte operacional, não distinguindo tempos de paragem não previstos ou planeados, correctivos ou preventivos. A melhoria do Do poderá ser atingida ou com o aumento do MTBM ou diminuição do MDT ou com alteração dos dois. A análise destas alternativas permite determinar qual destes factores melhoram a qualidade da Manutenção e sobre os quais se poderá actuar para atingir os objectivos de qualidade.

Disponibilidade Intrínseca

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

O MTBF e o MTTR são outras duas medidas de referência para se poder avaliar os resultados da Manutenção e estão associados à acção correctiva. Podem ser obtidas para um dado intervalo de tempo e em condições específicas de operação.

Tendo um conjunto finito de tempos até à falha e até à reparação, o MTBF e o MTTR são as médias aritméticas destes conjuntos de tempo. O MTBF é equivalente ao também utilizado ao MTTF (*Mean Time to Failure*) mas este último é aplicado quando um equipamento não tem reparação possível. Estes são representados matematicamente pelas seguintes expressões, nas quais o TBF indica o tempo entre avarias, o TTR indica o tempo para Manutenção correctiva e o N o número de ciclos.

Dado que o MTBF é constante durante o período de vida útil, o valor da disponibilidade intrínseca Di irá depender apenas do MTTR, podendo esta ser da manutibilidade do equipamento, da falta de

capacidade das equipas de Manutenção na resposta às acções correctivas ou pouca eficácia da acção preventiva que leva a avarias com tempos de reparação maiores.

Estes dois indicadores são bons transmissores da qualidade da função de Manutenção e que poderão despoletar acções com objectivo incutir melhorias na política de qualidade, promovendo políticas para a normalização de equipamentos, que privilegiam a fiabilidade e a manutibilidade.

O autor deste trabalho é da opinião de que, apesar de serem dois indicadores distintos, ambos estão ligados entre si e que deverão ser olhados sempre em simultâneo. Enquanto no Do se verifica o peso da Manutenção de uma forma geral e é possível reduzi-lo por via do aumento dos intervalos entre manutenções e/ou reduzir os tempos de gastos em Manutenção, no Di é possível observar o peso das correctivas nas disponibilidades dos equipamentos no número de vezes que ocorrem (MTBF) ou, no tempo que estão parados por acções da Manutenção não previstas (MTTR) resultado, por um lado, das características da própria natureza do equipamento que comprometem a sua fiabilidade mas também das acções preventivas de eficácia duvidosa (ou por falta de tempo ou recursos).

O exemplo prático, o grupo de moto-bombas do sistema de incêndio numa instalação de armazenagem de produtos combustíveis terá ter garantido uma disponibilidade total, já que uma falha deste sistema poderia ter consequências gravíssimas. As medidas de salvaguarda passam inevitavelmente pela acção da Manutenção, desde testes de funcionamento, inspecções visuais com medições e revisões aos equipamentos numa frequência que poderá comprometer o seu Do. Mas em contrapartida garantir um Di mínimo ou mesmo nulo porque é muito bem mantido e testado, reduzindo a probabilidade mínimas a sua falha quando for solicitado. O exemplo inverso também poderia acontecer, procurar reduzir o Do de um conjunto de equipamentos aumentando MTBM monitorizando o Di de forma a perceber se as suas medidas caminham para o benefício procurando melhorar a acção da Manutenção.

Cabe no final ao gestor de Manutenção decidir e argumentar, verificando custos-benefícios, considerando a criticidade dos equipamentos, políticas associadas aos equipamentos e aos modelos de gestão e políticas da sua empresa, qual os valores aceitáveis na sua operação.

Seguem-se algumas medidas de orientação do Do ou o Di na óptica da melhoria da Manutenção:

- Aumento do MTBM

- ✓ Escolha de equipamentos de elevada fiabilidade que ofereçam elevados períodos de funcionamento sem avarias;

- ✓ Aumentar a qualidade das intervenções de Manutenção, tanto a nível humano recorrendo a especialistas ou substituição integral de componentes/módulos. Muitas vezes a utilização de mão de obra indiferenciada sendo economicamente mais vantajosa compromete a qualidade. Obriga a análise do custo benefício, aumentamos o tempo entre manutenções mas também aumentamos o custo das intervenções;
- ✓ Maximizar os tempos entre Manutenção, obriga a um controlo maior sobre a condição dos equipamentos ou então com recurso a análise do histórico de avarias. A redução de intervenções sistemáticas e utilização de controlo de condição para justificar intervenções.

- Redução do MDT e do MTTR

- ✓ Escolha de equipamentos de elevada manutibilidade, ou aumentar peças de reserva para tempos de resposta a avarias reduzidos;
- ✓ Tentar planear ao máximo as intervenções, muitas vezes algumas são previsíveis e permitem preparação, ou ter em alerta recursos que permitam reduzir tempos de espera;
- ✓ Normalização de equipamentos, permite a intermutabilidade e por consequência o encurtamento dos tempos de intervenção e imobilização.

Sendo os critérios de fiabilidade e a manutibilidade características definidas apenas em fases prematuras do ciclo de vida, todas estas políticas e acções deverão estar presentes, fundamentando a participação da Manutenção.

A tabela 6 mostra um quadro – resumo de indicadores (*Lagging*) de avaliação de desempenho para resultados das actividades da Manutenção, tanto a nível de desempenho de equipamentos, como a nível de custos (financeiros). Conforme é referido atrás, estes últimos não foram abordados pela questão de estarem em segundo plano, sendo a prioridade avaliar o estado da Manutenção pelas suas características técnicas.

Foi acrescentada uma coluna que associa a necessidade de alguns registos para que estes indicadores sejam viáveis. Podemos interpretar estes registos como os campos que deverão estar presentes nas folhas de intervenção, pedidos de intervenção ou folhas de Manutenção preventiva.

Para além dos indicadores mais utilizados e associados à Manutenção de uma forma geral, existe um tipo de indicadores muito utilizados no sector petrolífero, os indicadores associados à conformidade de segurança ocupacional e ambiental. Estes aparecem pela forte pressão existente sobre este sector que internamente é transmitida às várias actividades, entre elas, a Manutenção, pretendendo monitorizar os níveis de cumprimento dos requisitos para a segurança e ambiente. No caso específico da Manutenção, estão muito relacionados com o desempenho dos equipamentos identificados como críticos no âmbito do SSA, tem-se o exemplo de tudo o que monitorize

processos, sistemas de alarme e detecção, sistemas de combate a incêndio e poluição, etc. De uma forma geral estes indicadores pretendem avaliar:

- Desempenho destes equipamentos, número de vezes que são testados e se durante os testes falham;
- Falhas associadas a estes equipamentos, não conformidades verificadas durante as acções de Manutenção preventivas;
- Cumprimento rigoroso dos planos de Manutenção previstos para estes equipamentos ou sistemas.

As boas práticas de Manutenção estão relacionadas com um desempenho sustentável e não apenas reparar o que está avariado. Os objectivos para a medição do desempenho não passam por apenas perceber o onde se pode cortar mas perceber onde é que a Manutenção das instalações pode ser melhorada.

Garantir que a “despesa” da Manutenção é orientada para os objectivos pretendidos com um conjunto de indicadores que informem sobre o desempenho dos seus equipamentos e posteriormente no processo de gestão do seu trabalho. Mais do que ter medidas em quantidade é ter medidas realistas com base em informação de qualidade. E só tendo isto, juntamente com o amadurecimento da utilização do CMMS, poderá evoluir-se para além das métricas mais simples descritas acima.

A questão do *benchmarking* é uma forma de ajudar a quem gere a Manutenção na definição de metas de desempenho realistas, que sejam alcançáveis e também aprender sobre práticas utilizadas em instalações semelhantes para atingir esses níveis de desempenho. No *benchmarking* é importante deixar claro que poderemos estar a falar sobre medidas ou números, principalmente em instalações como as de armazenagem, que são facilmente comparáveis dada a natureza de operação.

Resumindo, os indicadores de desempenhos são um elo importante que cruza os resultados obtidos com as actividades da Manutenção e os objectivos estratégicos para os quais trabalha, dando orientações para a sua melhoria.

A tabela 6 resume os indicadores descritos neste capítulo, com uma pequena descrição da sua função e – muito importante – a informação necessária a recolher para que estes se tornem viáveis. Facilmente se percebe que a qualidade da informação é essencial para a utilização de indicadores.

Tabela 6 – Resumo de alguns indicadores associados ao desempenho da Manutenção.

Cat.	Indicadores	Unid.	Descrição	Registo(s) Necessário(s)
Desempenho de Equipamentos	Nº de Falhas	Nº	Poderão estar separadas pelas suas consequências, operacionais, não operacionais, segurança, etc...	<u>Registo do nº e caracterização de avarias por equipamento</u> » Avarias com paragem de produção ou sem paragem de produção (definir se a reparação é adiável ou não e perceber como compromete a disponibilidade); » Tipo de trabalho, segurança, correctivo, preventivo, melhoria; » Registrar
	Frequência de falha/ Taxa de Avaria (λ)	Nº/Unidade Tempo	Nº de avarias por unidade de tempo, medição de fiabilidade.	
	MTBF MTTR MDT MTTF	Horas	Medida para a Fiabilidade e Manutibilidade	<u>Tempo de Reparação e Tempo Indisponibilidade</u> » Registo do início da avaria/Manutenção » Registo do início da reparação/Manutenção » Registo do fim da reparação e entrada em funcionamento; » Registo dos recursos, M.O., materiais e serviços; » Registo horas de equipamento ou outros parâmetros operacionais.
	Disponibilidade E Qualidade da Manutenção Do e Di	%	$\frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$, tempo disponível/tempo disponível+tempo de indisponibilidade.	
	%	$\frac{MTBM}{MTBM+MDT}$		

4. PROGRAMA DE MANUTENÇÃO

4.1. Modelo de Manutenção - Suporte aos Sistemas Gestão de Segurança

Nos países desenvolvidos, mais concretamente na União Europeia, directivas como a SEVESO III - 2012/18/UE [10], tem vindo a impor legalmente sistemas de gestão de segurança definindo regras para utilização e exploração de instalações de elevada perigosidade. Esta directiva tem como principal objectivo a redução do risco associado à natureza destas instalações, sensibilizando e recomendando uma série de actividades. Tem um grau de exigência elevado, obrigando ao cumprimento dos sistemas de gestão independentemente da dimensão ou recursos da empresa, focando-se apenas no grau de perigosidade, definido pelas quantidades e grau de perigosidade dos produtos armazenados.

Pequenas e médias instalações tem que ter implementado os seus sistemas de SSA da mesma forma que as grandes instalações, adaptados obviamente a recursos mais escassos e mais susceptíveis mas sem nunca comprometerem a sua coerência. Seja uma instalação de armazenagem de produtos petrolíferos, seja uma refinaria, os sistemas de gestão SSA e obrigações legais são para cumprir da mesma forma. Cabe agora aos responsáveis a sua implementação e utilização com os recursos existentes de forma eficaz.

Neste sector, a acção da Manutenção tem um papel fundamental nos sistemas de SSA, tendo com principal papel a monitorização e a manutenção da integridade dos equipamentos da instalação para uma operação robusta e fiável com um nível de risco aceitável.

Regra geral, o custo associado à Manutenção deste tipo instalações de elevada perigosidade é elevado, seja pelas acções impostas para cumprimento legal, seja pela complexidade e tipo de equipamentos. A forma de otimizar o binómio custo-benefício passa inevitavelmente por conhecer e avaliar o risco associado aos equipamentos, identificar os mais críticos e gerir a Manutenção de acordo com este critério.

No caso particular deste trabalho, o tema Manutenção é abordado apenas ao nível de pequenas instalações, comparando com refinarias ou outros complexos na área da petroquímica. Regra geral estas grandes instalações têm departamentos de Manutenção com recursos enormes e uma cultura associada, onde há funções exclusivas para avaliar e analisar a acção da Manutenção. Mas faz sentido se avaliarmos a complexidade e perigosidade da operação associada. Nas instalações de armazenagem, principalmente nas unidades mais pequenas, a realidade é completamente diferente não só pelo tipo de operação, movimentação e armazenagem de produto, mas também a níveis de recursos onde quem gere a Manutenção tem responsabilidades tanto a nível da execução como a nível da análise. Muitas das instalações apenas têm em consideração o que é identificado pelas

sistemas SSA através das análises e estudos de perigo relacionados com a operação e falha humana, os estudos HAZOP (*Hazard and Operability Study*), onde as medidas de salvaguarda identificadas serão as suficientes para o planeamento de inspecção e Manutenção, sem a implementação de uma metodologia específica.

Neste trabalho o modelo explorado baseia-se nesta necessidade, de conhecer e manter os equipamentos de forma a garantir um determinado nível de risco, baseando-se nas orientações e metodologias de Manutenção mais consensuais na área da petroquímica. Procurando-se uma abordagem melhorada, tanto a nível de desempenho como a nível de custos mas perfeitamente adaptada a pequenas instalações.

Tal como num negócio, a avaliação do risco na Manutenção garante uma forma de sistematizar uma abordagem às incertezas existentes, induzidas por factores externos ou internos, inerentes à exploração de uma determinada operação, função ou equipamento. Esta sistematização passa por identificar, analisar e avaliar os riscos associado a estes factores, permitindo assim uma gestão com utilização de recursos dimensionados.

A utilização do risco como factor de decisão na Manutenção pode ser introduzida em várias vertentes, desde a priorização das acções correctivas, determinação de planos de inspecção e de Manutenção preventiva, determinação de peças de *spare*. Ou seja, as decisões múltiplas da Manutenção são tomadas segundo um critério que as fundamente - neste caso específico- o risco após a sua avaliação.

Acidentes ou quase acidentes que existiram na indústria, estatisticamente associados a alguns tipos de equipamentos, foram determinantes na legislação existente e na forma como são feitas as medidas para o controlo de condição. Regra geral, os “sempre” incluídos são [28]:

- Reservatórios sob pressão, tanques de armazenagem de fluídos, permutadores e caldeiras;
- Tubagens incluindo válvulas que dela façam parte;
- Válvulas e sistemas de alívio de pressão.

Muitos destes equipamentos fazem parte da operação das instalações de armazenagem e deverão estar contempladas uma série de rotinas desde as simples inspecções visuais e pequenos ensaios periódicos, ou então ensaios e inspecções mais sofisticados como o caso dos NDT (*Non Destructive Tests* – ensaios não destrutivos). A sua utilização poderá ter a origem em:

- Exigências legais;
- Obrigações ou iniciativas corporativas.

Entenda-se a iniciativa como algo que esteja na genética empresa, muitas vezes enaltecida pelos seus sistemas de SSA. Apesar de tudo, infelizmente, muitas destas rotinas surgem principalmente por pressão legal do que pelas boas práticas recomendadas pelos SSA, que muitas vezes não são suficientemente “inspiradoras”, principalmente nas pequenas/médias instalações onde a Manutenção é mais visto como um acessório inevitável da exploração.

No quadro legal europeu e nacional, as exigências são bastante exigentes comparando com outros continentes, mesmo o americano que, no caso mais frequente dos equipamentos sobre pressão, não tem nenhuma legislação específica. A nível europeu, as directivas para os equipamentos sobre pressão, os ESP's (Equipamentos Sob Pressão), exigem uma série de regras tanto para a fase de construção, como para a fase de exploração deste tipo de equipamentos. O caso do DL nº 90/2010 [15], com base directiva europeia 97/23/EC [29], substituída recentemente pela directiva europeia 2014/68/EU de Julho de 2016 [30], que define a classificação com base na perigosidade no produto, pressão, volume ou diâmetro.

- PV = Pm.V para reservatórios;
- PD = Pm.DN para tubagens.

Onde Pm é a pressão máxima de utilização em bar, V o volume do reservatório em litros e DN o diâmetro nominal do tubo. Caso se verifique o enquadramento legal são obrigatórios uma série de inspecções e testes a executar por um OI (Organismo de Inspecção) devidamente creditado para a função. São executados testes e ensaios seguindo normas internacionais de engenharia, como as muito utilizadas normas API nos critérios de aceitação e métodos de inspecções.

Segue-se um quadro resumo na tabela 7 com algumas das mais importantes normas utilizadas por estes OI durante as suas inspecções aos ESP's e tanques de combustível de uma instalação de armazenagem. É recomendável o seu conhecimento para quem gere a Manutenção de instalações que contenham equipamentos neste enquadramento de inspecções obrigatórias. Sejam estes equipamentos caldeiras, tubagens, tanques ou reservatórios.

Tabela 7 – Quadro com algumas normas de referência nos critérios de inspecção em instalações.

API 510	Norma para inspecção a reservatórios sobre pressão, manutenção, inspecção, classificação e alterações.
API 570	Norma para inspecção, reparações e alterações em tubagens.
API 653	Norma para inspecção, reparações, reconstruções e classificação de tanques de armazenagem.
API RP 521	Guia para sistemas de despressurização e alívio de pressão.
API RP 530	Guia para cálculo de espessuras em tubos em sistemas de aquecimento.

No caso específico dos tanques de armazenagem de combustível, há uma obrigatoriedade legal pelo DL nº 246/92 [31] - Regulamento para Construção e Exploração de Postos de Abastecimento de Combustíveis e pelo DL nº 36270/47 [32] – Regulamento de Segurança das Instalações de Armazenagem e Tratamento Industrial de Petróleos Brutos, Seus Derivados e Resíduos – para a inspecção de tanques de combustível que deverá ser feita numa periodicidade nunca superior a 10 anos. Também estas executadas apenas por OI (Organismo de Inspeção).

Como é referenciado anteriormente, apesar do quadro legal exigente, são também exigidas à Manutenção pelos seus sistemas SSA, uma série de rotinas e procedimentos bem fundamentados para a monitorização e garantia da integridade dos equipamentos com base em análise de perigo. Esta deverá garantir programas de inspecção e gestão das suas actividades preventivas e correctivas específicas para equipamentos mais críticos, sempre com balanceando as decisões com as restrições a níveis de recursos.

4.2. Manutenção Baseada no Risco (RBM – *Risk Based Maintenance*)

A utilização de uma estratégia com base no risco acaba por ser essencial à criação de uma estratégia para a Manutenção melhorada do ponto de vista de eficiência económica e técnica. A locação de esforços nas actividades de Manutenção é feita segundo o nível de criticidade dos equipamentos que pode ser identificada com base num nível de risco associado a este. É um óptimo argumento para não cair em nenhum dos seguintes casos, optar por uma estratégia extremamente conservadora com a Manutenção, criando um custo elevado ou optar por uma estratégia demasiadamente permissiva e flexível à produção ou operação que, por mais económica que pareça poderá ter consequências com custos elevados. A adopção de uma metodologia baseada no risco irá permitir reduzir os níveis de risco de uma forma geral e a um custo eficiente.

A política convencional de sistematizar as rotinas da Manutenção em função do tempo acaba por trazer os problemas de falta de competitividade a nível económico e não só [33]:

- Redução da segurança de uma forma geral por diluição dos esforços de Manutenção;
- Induz a uma política de desperdício de recursos;
- Não consegue avaliar o verdadeiro estado da instalação, não há a quantificação do risco.

Mesmo com a argumentação de utilizar apenas o critério histórico de avarias, se existir, para justificar a periodicidade pode até aumentar o risco. Assumir que não havendo avarias será possível aumentar a periodicidade poderá ser um erro porque despreza mecanismos de degradação, ritmos e condições de operação que podem ficar ou ser diferentes. O mesmo aplica-se às recomendações do fabricante que poderão não prever as situações reais de utilização. A solução pode ser oferecida por uma Manutenção baseada no risco que avalie o risco associado ao equipamento a partir das

condições de operação e meio onde está inserido. Abandona-se a tradicional forma de gerir a Manutenção apenas por sistematização e introduz-se uma consciente do risco.

A RBM é algo que já se encontra bem instaurada no mundo da Manutenção e consequentemente, normalizada. Algumas das normas mais conhecidas que definem boas práticas para uma RBM: API 580 – *Recommended Practice for Risk Based Inspection*, API 581 – *Risk Based Inspection-Base Resource Document*, ASME CRTD 20 – *Risk-based Inspection Development of Guidelines*, EUR 21581 EN – *European Framework Document for Risk-informed Inservice Inspection (ENIQ)*.

Resumidamente, a RBM é uma metodologia que quantifica o risco dos equipamentos, avaliando as consequências, quantificando a exposição e efeitos das falhas no meio ambiente, pessoas e termos económicos, cruzando-o com a probabilidade de estas falhas acontecer.

Seguindo a definição de risco utilizando como referência o documento API-580 – *Recommended Practice for Risk Based Inspection*, é o resultado do produto entre a probabilidade de um determinado evento poder causar perdas ou danos a vários níveis de consequências.

Ou seja, o risco será determinado pela probabilidade de acontecer uma determinada falha ou dano infligido num equipamento e os níveis das consequências originadas por estes eventos conforme se ilustra na figura 17.

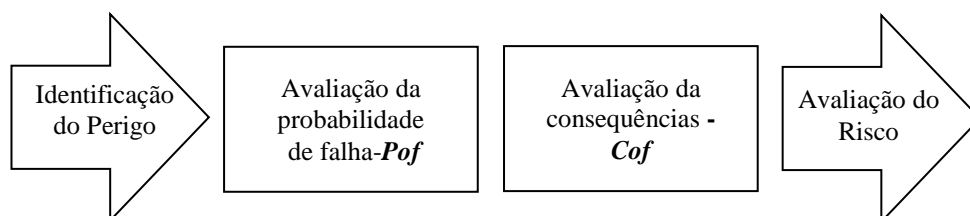


Figura 18 - Avaliação do Risco.

Nesta definição é muito importante ter a noção e de não confundir perigo e risco. *Brigas* [34] faz referência a estas duas definições e associa o perigo às fontes de degradação ou situações com potencial de poder causar degradação, vibrações, altas temperaturas, etc.

Como é deduzível, as metodologias RBM são altamente dependentes das qualificações do pessoal envolvido na sua implementação. A determinação da probabilidade associada a uma eventual falha avaliando componentes, mecanismos de degradação ou mesmo à avaliação das consequências, obriga a existência de equipas multidisciplinares ou seja, recursos. Muito dificilmente resultará em pequenas e médias instalações, onde estes não existem.

Braggatto [28], apesar do reconhecimento óbvio deste método para gerir a Manutenção, enuncia uma série de factores que dificultam a implementação de modelos de Manutenção RBM em pequenas instalações:

- É extremamente difícil de implementar quando não existe um quadro de pessoal especializado nesta área. Há a premissa de existir pessoal multidisciplinar para identificação, análise dos modos de falha e quantificação probabilística;
- Exige profundo conhecimento acerca da compreensão e avaliação do risco;
- Não é possível a sua implementação por pessoas que estão regime *stand alone*.

Dadas estas condições que obviamente não existem nas instalações mais pequenas, surge a necessidade de criar formas de gerir o risco à escala destas instalações. Mesmo não sendo necessário possível a sua implementação integral, é possível absorver alguns conceitos desta metodologia para que se vejam cumpridos de forma eficaz a da acção da Manutenção prevista tanto a nível legal, como os contemplados pelos sistemas SSA ou pelos próprios fabricantes.

Apesar disto, alguns dos conceitos e as formas de implementação podem ser adoptados para implementar esta metodologia de forma mais simples mas beneficiando das suas vantagens [34]:

- Identificação dos equipamentos mais críticos;
- Identificar pontos fracos da operação;
- Concentrar a capacidade de inspecção nas áreas críticas;

Nestas instalações métodos muito sofisticados para avaliação de risco não têm sentido prático mas também a “mera” caracterização tipo *PV* utilizada em contexto dos ESP's não será a suficiente. O que faz sentido é a criação de um sistema de classificação dos equipamentos com base na sua criticidade, avaliando perigos com base na experiência e condições de operação só posteriormente definir a acção da Manutenção.

No exemplo concreto das instalações de armazenagem de combustíveis, principalmente em terminais portuários, estas poderão conter enormes quantidades de produtos extremamente perigosos, não só pelo seu baixo ponto de inflamação mas também pela sua toxicidade, que mesmo em baixa pressão apresentam um risco enorme. Seja em caso de fuga para o meio marinho, seja em caso de incêndio na instalação ou meios envolventes, este cenário poderá ser pior se a localização for perto de zonas urbanas, as consequências poderão ser desastrosas. O próprio meio envolvente e os regimes de utilização poderão ter uma palavra final nos mecanismos de degradação, aumentando a probabilidade e conseqüentemente a exposição ao risco.

No modelo apresentado, opta-se por uma solução mais simples, considerando uma análise quantitativa e determinística baseada numa metodologia RBM onde os equipamentos são separados, identificadas as suas características operacionais, quantifica-se a sua criticidade avaliando o risco associado às consequências da sua falha e daqui nascem as orientações para as políticas de Manutenção seleccionando técnicas de acordo com a criticidade.

Esta análise de risco corre sobre uma análise de vários factores que condicionam, tanto as probabilidades como as consequências. Após uma boa análise é possível tomar uma decisão com base no risco. A figura 18 é uma visão simples que relaciona o produto entre consequências e probabilidades para cálculo do risco e como isto irá priorizar a acção da Manutenção.

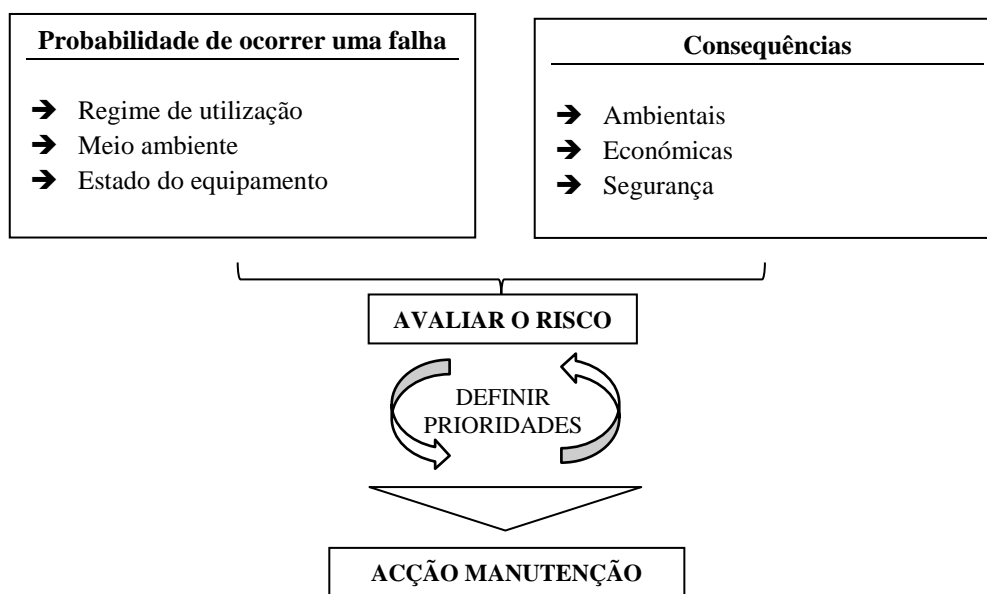


Figura 19 – Prioridade com base no risco, (adaptado de [35]).

A premissa é simples, equipamentos com maior nível de risco associado será atribuído uma maior incidência e complexidade de intervenções e inspecções de carácter preventivo, nos menos críticos apenas rotinas sistematizadas ou apenas correctiva. Pretende-se assim uma melhoria da gestão da Manutenção adaptada aos recursos existentes orientada para um nível de risco definido.

4.2.1. Gestão com base na Criticidade dos Equipamentos

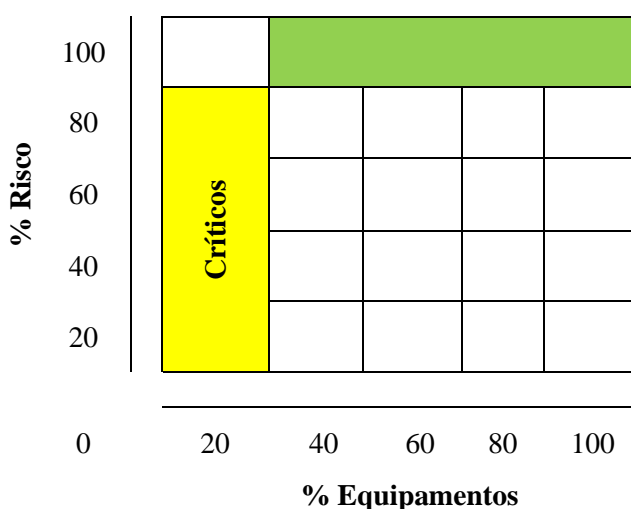
Um dos principais objectivos nos modelos baseados no risco é a concentração do esforço dos recursos e actividades existentes da Manutenção nos equipamentos críticos. Ou seja, os que mais poderão condicionar a exploração das instalações de armazenagem de combustíveis. O equipamento crítico é aquele que contribui mais para situações de risco. Isto é, considerando o âmbito RBM, aquele que tenha maior risco associado avaliando as consequências da sua falha e a

probabilidade destas acontecerem. São aqueles componentes ou sistemas que poderão levar a situações críticas.

Janovic [33] quantifica muito bem a importância da identificação destes equipamentos e demonstra o peso destes no risco associado à exploração de instalações industriais do ramo energético. Este constata que, em grande parte desta indústria, 80% do risco está concentrada em 20% dos equipamentos.

Concentrando esforços neste pequeno grupo de equipamentos, facilmente tem-se uma redução do risco de um nível elevado. De forma hipotética, poder-se-ia reduzir a Manutenção apenas a estes 20% para garantir níveis de risco muito baixos. A tabela 8 ilustra esta situação de forma simples mas evidente.

Tabela 8 – Contribuição dos equipamentos críticos no risco, (adaptado de [33]).



Seguindo esta analogia, é possível conseguir dois objectivos que aparentemente incompatibilizam-se quando se fala de melhoria: o binómio poupança-disponibilidade. Poupança geral ao nível de custos, focando-se recursos nos equipamentos críticos e aumento da fiabilidade geral, uma vez que o risco associado à operação é minimizado, aumentando-se a disponibilidade e segurança.

4.2.2. Implementação da Avaliação do Risco na Manutenção

De forma a implementar uma metodologia RBM, é necessária a abordagem de alguns passos e conceitos simples. Seguindo as metodologias seguidas na vasta literatura existente, o processo é sempre muito semelhante: identificar os perigos, criar níveis de aceitação para o risco, avaliar o risco e tomar decisões com base nos níveis encontrados. Uma vez que este trabalho aborda esta questão de uma forma simplificada, procurou-se introduzir metodologias e conceitos consensuais.

Segundo *Arunjaj e Maiti* [36], uma estrutura para uma RBM passa por duas grandes etapas:

I. Avaliação do Risco

II. Planeamento da Manutenção com Base no Risco

Dentro destas duas etapas são identificados 6 passos fundamentais para o fluxo de uma Manutenção baseada no risco – RBM:

1. **Análise dos perigos** – Identificação e organização do sistema ou equipamento de acordo as suas funções e dos eventuais cenários de falha que possam ocorrer, ou por falhas de operação, concepção do equipamento ou falhas de segurança;
2. **Análise de Probabilidades (Pof – *Probability of Failure*)** – Tem o objectivo de calcular a frequência com que uma determinada falha acontece, isto é, num determinado período de tempo qual a probabilidade desta ocorrer;
3. **Análise das Consequências (Cof – *Consequence of Failure*)** – O objectivo deste campo é quantificar as consequências num eventual caso de falha. Esta quantificação deverá ponderar sobre eventuais perdas nos vários temas, produção ou operacionais, perdas de equipamentos, perdas ambientais, perdas de ao nível de segurança e saúde humana;
4. **Definição do Nível de Risco** – Baseado na análise de consequências e análise probabilística das falhas deverá ser possível quantificar o risco associado a cada unidade ou equipamento seleccionado;
5. **Critério para aceitação do Risco** - São cruzados os valores calculados com os níveis de risco definidos como aceitáveis; se os valores calculados forem ultrapassados deverá ser exigida uma intervenção de Manutenção, de forma a que o risco baixe;
6. **Planeamento da Manutenção** – Gestão da Manutenção com aumento de intensidade nos equipamentos críticos. Para níveis não aceitáveis terão que existir abordagens específicas.

O processo de avaliação de risco em si contém 3 passos:

- I. Identificação dos eventuais perigos/ameaças;
- II. Estimar a probabilidade de estes acontecerem (frequência);
- III. Estimar as suas consequências.

O produto destes 3 factores dá o risco associado a um evento/falha/avaria identificada. A análise procura resposta às seguintes perguntas: O que é que pode correr mal? Como pode correr mal? Qual a probabilidade de acontecer? Quais são as consequências?

Depois de conhecido o risco de um acontecimento, é necessário definir o nível de risco que estamos dispostos a aceitar, aquele que temos que reduzir avaliando o custo e aquele que temos que reduzir independentemente do custo.

A Figura 19 esquematiza os 6 passos que constituem base de uma RBM e a respectiva avaliação do risco.

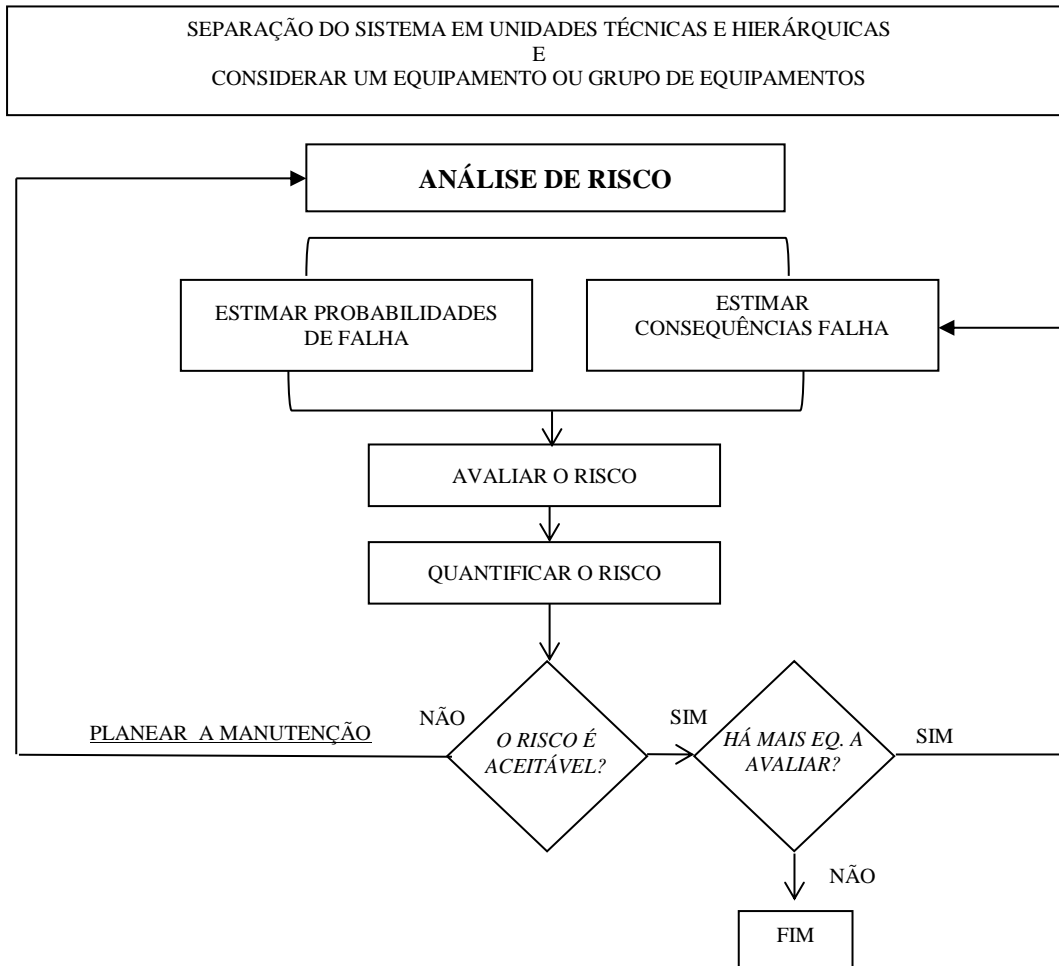


Figura 20 – Processo avaliação do Risco na RBM, (adaptado de [36]).

4.2.2.1. Análise dos Perigos

A análise dos perigos compreende a identificação dos perigos relacionados com as substâncias e equipamentos que se encontram na Instalação. Esta identificação de perigos resulta, essencialmente, numa análise funcional dos equipamentos, identificando os possíveis modos de falha e as consequências destas. Previamente a esta análise funcional é necessário ter os equipamentos separados de forma hierárquica onde possam ser conhecidas as interdependências entre estes e evidenciar melhor o peso das consequências em todo o sistema em caso de falha.

Análise Funcional – Definição de funções e desempenho, onde as funções para cada uma das partes de um equipamento são definidas, assim como os níveis de desempenho esperados para cada uma destas funções, de forma a identificar com facilidade eventuais desvios da função esperada. Depois, para proceder a uma análise às falhas funcionais, é necessário identificar as respectivas funções distinguindo-as entre [35]:

- **Funções essenciais:** função requerida a um determinado elemento e para a qual ele foi instalado;
- **Funções auxiliares:** funções de suporte à função essencial;
- **Funções de segurança/protecção:** funções associadas à protecção das pessoas, instalação, ambiente durante operação;
- **Funções informativas:** referente à funções que oferecem informação acerca de monitorização de parâmetros operacionais;
- **Funções de interface:** funções de ligação entre equipamentos/elementos;
- **Funções supérfluas:** função existente mas não que não é relevante para o contexto.

As funções podem ainda ser classificadas por:

- **Funções contínuas:** permanentemente ligadas e em utilização frequente, falha nestas funções são mais óbvias;
- **Funções intermitentes:** funções que são utilizadas de forma intermitente ou não frequente, normalmente as falhas destes são mais difíceis de identificar e exigem ensaios ou testes para identificação de eventuais falhas.

Após caracterização das funções, poderão ser identificados os modos de falha associados a cada uma destas, caracterizando as suas consequências, qualificando-as em níveis de severidade e estimando a sua frequência, ou seja, a sua probabilidade.

4.2.2.2. Análise do Risco – Consequências (Cof) x Probabilidade (Pof)

De forma a poder avaliar a gravidade de uma eventual falha, é necessário efectuar uma avaliação probabilística e uma análise de consequências de acordo com a sua natureza.

Cof

A consequência da falha será o resultado de uma determinada falha que ocorra. A sua quantificação será associada ao grau de severidade para os elementos vulneráveis, pessoas, meio-ambiente e bens materiais. Estas traduzem-se nas três preocupações corporativas mais importantes neste sector, SSA, que a nível das metodologias de RBM são bastante consensuais não existindo muita variação para além destes temas.

- Segurança/Humanas – Traduzem-se ao nível consequências a nível pessoal, lesões, invalidez ou fatalidade;
- Ambientais – Poderão estar relacionados com uma série de aspectos, quantidade de produto derramado, tipo de produto derramado que poderão ter consequências maiores ou piores para o ambiente;
- Económicas – Nível de consequências a nível económico, poderão estar associadas a perdas de bens, indemnizações a pessoas ou comunidades, custo das consequências ambientais ou custo da reputação da própria empresa. Deverá ser quantificada indicando uma unidade monetária;

Pof

Este define a probabilidade de uma falha ocorrer por uma unidade de tempo. Uma vez que os valores de probabilidade surgem entre 0 e 1, muitas vezes estes são apresentados em forma logarítmica. Nas metodologias associadas à gestão da Manutenção baseada no risco, as probabilidades de falha poderão ter orgânicas diferentes e neste assunto existe alguma divergência.

Nos equipamentos estáticos, como é o caso das tubagens ou tanques de armazenamento, as probabilidades estão associadas aos mecanismos de degradação expectáveis e às velocidades e incertezas destes ocorrerem impostas por vários factores. As metodologias RBI utilizada nestes casos definem muito bem como os mecanismos de degradação se podem potenciar dentro das condições de utilização e meio envolvente, aumentando ou reduzindo a probabilidade de uma determinada falha acontecer.

Nos modos de degradação dos equipamentos dinâmicos, os factores de carácter mais imprevisível que os poderão condicionar, tornam a quantificação das probabilidades uma tarefa muito mais difícil. Nestes casos opta-se mais pela acção empírica e análise histórica, caso exista, baseada na experiência de pessoal especialista e tabelas com equipamentos de referência. A metodologia RCM é muito aplicada nestes casos.

Nas tabelas 9 e 10 temos exemplos de Cof e Pof para vários níveis de severidade de consequências e níveis de probabilidades respectivamente.

Tabela 9 – Exemplo de índices de severidade para as várias categorias de consequências, (adaptado de [36]).

Nível de Severidade	Tipo de consequência	Descrição	Exemplo
A	Saúde e Segurança	Lesão com possível baixa de 1 a 3 dias	Queimaduras 1º grau; Escoriações
	Ambiente	Impacto não perceptível fora da instalação, pequeno derrame	Pequenos derrames de um acoplamento de abastecimento a cisternas
	Económicos/Reputação	>10k€ Impacto sem significado para a reputação	Pequeno cheiro a combustível no exterior da instalação
B	Saúde e Segurança	Lesão com impossibilidade de trabalhar com baixa até 10 dias	Lesões músculo-esqueléticas ligeiras, irritações cutâneas.
	Ambiente	Derrame de pequena duração fora das zonas de contenção mas reversível	Produto derramado é recuperável, pequeno impacto na população local
	Económicos/Reputação	10k€<x<100k€ Algum impacto no momento do acontecimento	Alguma agitação social local pelo fecho temporário da instalação;
C	Saúde	Lesões ou perdas de capacidade para trabalhar com períodos de baixa superiores a 30 dias	Fracturas, lesões músculo-esqueléticas graves, queimaduras de 2º grau
	Ambiente	Derrame de pequena duração fora das zonas de contenção mas reversível dentro dos limites legais	Pequenas quantidades derramadas não recuperadas;
	Económicos/Reputação	100k€<x<500k€ Impacto local de duração temporária mas reversível	Agitação social local pelo fecho temporário da instalação
D	Saúde	Várias lesões ou perdas de capacidade para trabalhar com períodos de baixa superiores a 30 dias com incapacidade parcial permanente. Fatalidade.	Fracturas/ lesões músculo-esqueléticas graves, queimaduras de 3º grau
	Ambiente	Derrames com quantidades superiores às permitidas por lei	Emissão prolongada de efluentes líquidos ou gasosos para o meio ambiente de forma não recuperável
	Económicos/Reputação	500k€<x<1000k€ Impacto considerável a nível local e eventualmente nacional	Limpeza de um local que transtorne/ comprometa o bem estar das populações
E	Saúde	Consequências letais múltiplas	Morte
	Ambiente	Derrames de grandes quantidades	Derrame de produtos altamente tóxicos
	Económicos/Reputação	>1000k€ Impacto a nível nacional, reputação comprometida	Incêndio numa instalação

Tabela 10 – Exemplo de categorias para vários níveis de probabilidade, (adaptado de [36]).

Categoria	Palavra Chave	Descrição	Frequência /Ano	Exemplos práticos
1	Muito raro	Quase Impossível	$10^{-5} <$	Acidente mortal; Queda de um avião; Acidente causado por um relâmpago
2	Raro	Pouco provável	$10^{-5} a 10^{-4}$	Avarias graves com consequências financeiras graves; Acidentes com lesões permanentes; Perda de controlo de um equipamento crítico.
3	Ocasional	Acontece com pouca frequência	$10^{-4} a 10^{-3}$	Falha de uma bomba; fuga em tubagem; acidente com baixa > 2 dias.
4	Provável	Acontece com alguma frequência	$10^{-3} a 10^{-2}$	Falha de energia, acidentes sem baixa <2 dias, um filtro colmatado.
5	Frequente	Acontece com frequência	$<10^{-2}$	Pequenos derrames durante trasfegas; Pequenos abrandamentos na operação

4.2.2.3. Avaliação de Risco

O número de métodos existentes para avaliação de risco é extenso e disperso, no sentido em que não existe um método que seja aplicável em qualquer situação. Estas metodologias estão separadas de acordo com o seu tipo [37]:

Quantitativo – Pode ser feito estimando a frequência e as consequências. Esta baseia-se em modelos já existentes onde são calculados valores numéricos. Esta quantificação de valores de risco pode ser expressa em termos qualitativos, ou seja, termos que correspondem a bandas de probabilidades e consequências. Exige a avaliação de risco com recurso a ferramentas informáticas. Regra geral, só é aplicado quando os custos associados à análise a justificam e existe informação e dados que a tornem praticável.

Qualitativa – Não é tão exigente quanto à análise feita, apenas exige uma simples descrição das principais falhas, consequências e cruzamento com cumprimento legal e exigências a nível corporativo. Baseia-se em juízos e cruzamento da opinião de pessoal especializado e com experiência na matéria. A qualificação do risco poderá ser classificada por exemplo em Alta, Média ou Baixa ou 1, 2 e 3. Tem como grandes vantagens o custo reduzido, a necessidade de pouca informação detalhada e de ser facilmente compreensível. Apresenta as desvantagens de estar

dependente de juízos e da experiência da pessoa e, ao contrário dos métodos quantitativos, não existe um modelo sistematizado onde há actualização do risco a partir de informação recolhida das inspecções. Normalmente, os resultados são apresentados em forma de matriz e criados níveis de classificação de acordo com os níveis de consequências.

Semi-Qualitativos / Semi-Quantitativos – Utilização dos dois métodos. Por exemplo, em casos onde a Cof seja quantitativa e a avaliação da Pof seja qualitativa. Ou a Cof e a Pof sejam quantitativas mas a priorização das actividades de Manutenção é feita de forma qualitativa.

4.2.3. Métodos Qualitativos

Bragatto [28] na sua análise à RBM recomenda a utilização de métodos qualitativos em instalações mais pequenas pela sua menor exigência. Recomenda também que a avaliação do risco seja feita com recurso a matrizes onde se faça o cruzamento entre probabilidades e consequências, avaliando os vários aspectos e factores que possam aumentar reduzir consequências e probabilidades de acontecerem.

De acordo com a DNV-RP-G101 [37], norma que define uma metodologia RBI (*Risk Based Inspection*), considera que a utilização de métodos qualitativos deve seguir uma série de critérios, separados pelas várias fases de avaliação de risco. De salientar as mais importantes:

- Utilização de matrizes de avaliação de risco deve ser feita com procedimentos bem definidos e com critérios de quantificação bem consensuais entre todos que fizerem parte da equipa de avaliação. Deverão estar presentes os interesses da empresa e exigências legais;
- O *input* deve ser feito recorrendo a equipas que contenham pessoal com experiência na área e que conheçam bem a instalação, equipamentos e operação;
- Deverá evitar-se a utilização de valores numéricos, a quantificação deverá ficar limitada à descrição meramente qualitativa. Especialmente nas avaliações de risco preliminares onde se faz uma primeira triagem da criticidade dos equipamentos;
- A utilização de métodos qualitativos é sempre uma vantagem quando existe pouca documentação relacionada com os equipamentos;
- Na presença de instalações cuja operação seja bastante bem conhecida, os equipamentos presentes são muito utilizados em situações semelhantes, o pessoal com bastante experiência na utilização de métodos qualitativos são sempre uma mais-valia. Isto assumindo que os critérios de avaliação vão sendo acompanhados no futuro, actualizando-se os níveis de operação e desgaste.

Mais uma vez, é possível afirmar que a avaliação de risco qualitativa está perfeitamente enquadrada com a realidade das instalações mais pequenas e de operação conhecida.

Na tabela 11 é dado um exemplo da avaliação de risco, onde nos eixos verticais está a probabilidade de falha e no eixo horizontal a severidade das consequências. Naturalmente, a quantificação ou qualificação dos valores utilizados irão depender muito da dimensão da instalação, sensibilidade do meio ambiente e vizinhança envolvente.

Tabela 11 – Tabela de avaliação de Risco, (adaptado de [37]).

Categoria Pof	Descrição da Pof	A	B	C	D	E
5	Acontece com frequência, espera-se que ocorra várias vezes ao ano. Cada < 6 meses.	MÉDIO	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
4	Acontece com alguma frequência, espera-se que ocorra uma vez ao ano. Cada 12 < x < 6 meses	MÉDIO	MÉDIO	ALTA	ALTA	ALTA
3	Poderá acontecer de forma ocasional, espera-se que ocorra durante a exploração. Cada 1 a 3 anos.	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	ALTA	ALTA
2	Acontecimento raro Cada 3 a 20 anos.	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	ALTA
1	Acontecimento muito raro > 20 anos.	BAIXO	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO
Tipos de Cof	SAÚDE	Sem lesões ou mínimas	Lesões c/ baixa < 2 dias	Lesões graves c/ baixa < 2 dias	Lesões graves com lesões permanentes	Morte
	AMBIENTAIS	Sem poluição	Efeitos locais, limpo facilmente	Efeitos locais mas com custos na limpeza	Poluição com consequências no meio ambiente local	Poluição com danos irreparáveis no ambiente
	ECONÓMICOS	Custos de valor desprezáveis < 10k€	10k€, paragem de operação por ½ dia	10k€ a 100k€, paragem de operação por 1 dia	100k€ a 500k€, paragem de operação por 1 semana	>1000k€, operação parada por mais de um mês
Categoria do Cof		A	B	C	D	E

É possível observar três níveis de cores, associados a três níveis de risco. Verde para risco baixo; regra geral para equipamentos deste nível recomenda-se apenas inspeções visuais periódicas e

acções correctivas. Amarelo para equipamentos de nível médio, risco tolerável; são recomendadas inspecções visuais periódicas e algumas recorrendo a ensaios e controlo da condição para monitorização do risco, por exemplo ensaios não destrutivos, monitorização de temperaturas ou vibrações, dependendo do quadro operacional existente. Finalmente, o nível vermelho para equipamentos com níveis de risco inaceitáveis ou no limite do aceitável. Neste nível os equipamentos, condições de operação ou implementação normalmente são revistas e são criadas condições especiais para Manutenção e operação.

Segundo a DNV-RP-G101 [37], a avaliação de risco poderá ser utilizada em dois campos distintos:

- Definir níveis de criticidade para os equipamentos qualificando os níveis de risco e assim ser possível definir quais os equipamentos mais críticos;
- Método para criar níveis de risco aceitáveis, estimar o risco para equipamentos ao longo da sua vida com avaliações frequentes, identificar os equipamentos que se prevejam que estejam a entrar em níveis não recomendados e planear a sua substituição.

4.3. Modelo de Manutenção Baseado no Risco para Melhoria

Conforme visto anteriormente, as falhas dos equipamentos poderão ter consequências a vários níveis, ambiental, humana e operacionais ou financeiras. Identificando os modos de falha, os seus mecanismos e a determinação do risco para cada um destes, é possível avançar com medidas de salvaguarda, em função dos níveis de risco. Supondo o caso prático de uma bomba, os modos de falha podem ser excesso de temperatura, pressão, vibração excessiva, etc. O caso da corrosão numa tubagem, que poderá levar, por exemplo, a uma falha de material e consequente perda de estanquicidade de uma tubagem, ou um pico de tensão eléctrica na instrumentação de um equipamento, que leve à perda do comando deste.

Neste modelo serão apresentadas as linhas para uma gestão da RBM que permita melhorar a Manutenção de uma instalação de armazenagem. O modelo proposto terá como base dois documentos referência, a norma RP-G101 [37] – *RBI Recommended Practice On/Off Shore Static Equipment* (Práticas recomendadas de inspecção para equipamentos estáticos *on* e *offshore*) do *Det Norsk Veritas*, uma das mais importantes empresas de classificação do mundo e especialistas na gestão de risco na área do *Oil&Gas*. E a norma NORSOK Z-008 [4] – *Criticality Analysis For Maintenance Purposes* (Análises de criticidade para aplicações em Manutenção), sendo a NORSOK um grupo regulador de segurança criado pelos principais grupos de exploração petrolífera noruegueses.

A presença dos dois documentos irá sustentar algumas das decisões e metodologias elegidas. Serão sempre feitas referência a estes dois, muitas vezes como forma de comparação. Como referido

anteriormente neste trabalho, a dimensão e os recursos técnicos e financeiros obrigam a adaptação destas metodologias de uma forma simplificada mas sem perder o seu objectivo, identificação dos equipamentos críticos e medidas de salvaguarda à medida do risco.

Utilizando a estrutura da NORSOK Z-008 [4], o modelo proposto será dividido em dois grupos, definidos na sua totalidade por 6 sub etapas.

I-Distribuição funcional e hierárquica dos equipamentos e classificação da criticidade dos equipamentos com base nas consequências.

- 1) O início deste processo nasce a partir a distribuição dos equipamentos pelas suas funcionalidades e características técnicas. Isto permite de que forma é que estes poderão comprometer a operação em caso de falha, no caso dos equipamentos de segurança, estes facilmente são identificados e aplicadas medidas adicionais que garantam a sua fiabilidade. Como foi referido anteriormente, ajuda também a identificar equipamentos (segurança ou outro tipo) que já tenham pré-requisitos e planos de Manutenção definidos por norma corporativa ou imposição legal, caso dos ESP's. Evita-se o risco de executar um trabalho de avaliação de modos de falha e consequências para identificação de medidas já identificadas ou contempladas por estes requisitos;
- 2) Selecção e triagem dos equipamentos avaliando o risco e definindo o seu nível de criticidade com base nas suas consequências com a criação de um critério de aceitação para cada um dos níveis de criticidade. Esta selecção é feita a um nível superior da hierarquia dos sistemas de equipamentos e com base na criticidade desenvolver-se-á com mais ou menos detalhe a estrutura funcional. Assim será possível circunscrever esforços apenas nos equipamentos de maior criticidade;

II- Modelo para Gestão da Manutenção - Avaliação do Risco e Análise aos modos de Falha

- 3) Para equipamentos de baixa criticidade serão apenas contempladas pequenas inspecções visuais e acções correctivas;
- 4) Para equipamentos de média e alta criticidade média poderão ser considerados dois caminhos, a aplicação de planos genéricos de Manutenção, baseados na experiência ou requisitos legais;
- 5) Ou aplicação de um modelo para análise dos modos e efeitos de falha (FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*) e posterior avaliação de risco. É feita preferencialmente para equipamentos considerados críticos e onde não haja procedimentos corporativos ou legais

para acção da Manutenção. Este modelo deve ser considerado de forma integral apenas nos níveis altos de criticidade ou para instalações e equipamentos novos onde não haja a componente experiência e / ou históricos de utilização;

- 6) No fim, as actividades de Manutenção deverão ser incluídas nos planos de Manutenção dos equipamentos e calendarizadas contemplando os recursos necessários à sua execução e introduzidas no CMMS para gestão.

No caso de equipamentos críticos, se já existirem planos de Manutenção estabelecidos, a melhoria será um processo mais difícil porque é necessário cruzar o já definido com *input* de um modelo baseado em modos e mecanismos de falha. É importante ter isto em consideração, principalmente quando se tratam de instalações já com alguma idade onde o pessoal e recursos existentes já estejam formatados para as rotinas e onde a introdução novas actividades poderá gerar uma certa entropia, havendo mais custos do que benefícios. Neste caso, até para melhorar-se o processo de avaliação de risco, consequências, frequências de acontecimentos e definição dos níveis de criticidade é muito importante envolver as pessoas.

É de salientar a introdução de um CMMS para a extracção e análise de dados referentes à utilização dos equipamentos/sistema. Mais uma vez é fundamentada a importância da implementação deste tipo de recurso como um suporte na gestão da Manutenção e integração do modelo de Manutenção nas políticas de SSA.

4.3.1. Modelo de Manutenção Baseado no Risco para Melhoria segundo a NORSOK Z-008

A NORSOK Z-008 [4] é uma norma que define um modelo para melhoria de programas de Manutenção em instalações que operem produtos petrolíferos. Cobre todo o tipo de instalações, novas ou em operação, considerando os equipamentos estáticos e ou dinâmicos, eléctricos ou mecânicos. Esta define um processo racional de melhoria baseada na análise de risco e custo-benefício das acções a implementar.

Uma vez que o interesse é incluir e integrar todas as actividades de Manutenção, inevitavelmente serão feitas referências a Manutenção e inspecção neste modelo. No que respeita às inspecções, estas remetem para a norma RP-G101 [37], como é referido mais à frente.

A Z-008 [4] define dois caminhos para a definição de planos de Manutenção em equipamentos:

- **Instalações novas**, sem critérios de segurança bem definidos e conhecimento prático de exploração recomenda-se a utilização de planos de Manutenção genéricos (*generic maintenance concepts*). Pode-se interpretar este conceito como planos de Manutenção

conservadores previamente definidos, que garantem integridade dos equipamentos de forma uma transversal. A melhoria neste caso é difícil, sem um nível de risco aceitável. Pode optar-se por utilizar a experiência em instalações semelhantes, ainda que não seja recomendável;

- **Instalação em operação**, onde exista experiência, conhecimento e níveis de risco bem conhecidos. Opta-se por uma análise RCM (*Reliability Centered Maintenance*), de modo a envolver este conhecimento e experiência na melhoria da Manutenção.

A Figura 21 ilustra o modelo proposto com base na Z-008 [4] para gestão da Manutenção baseada no risco.

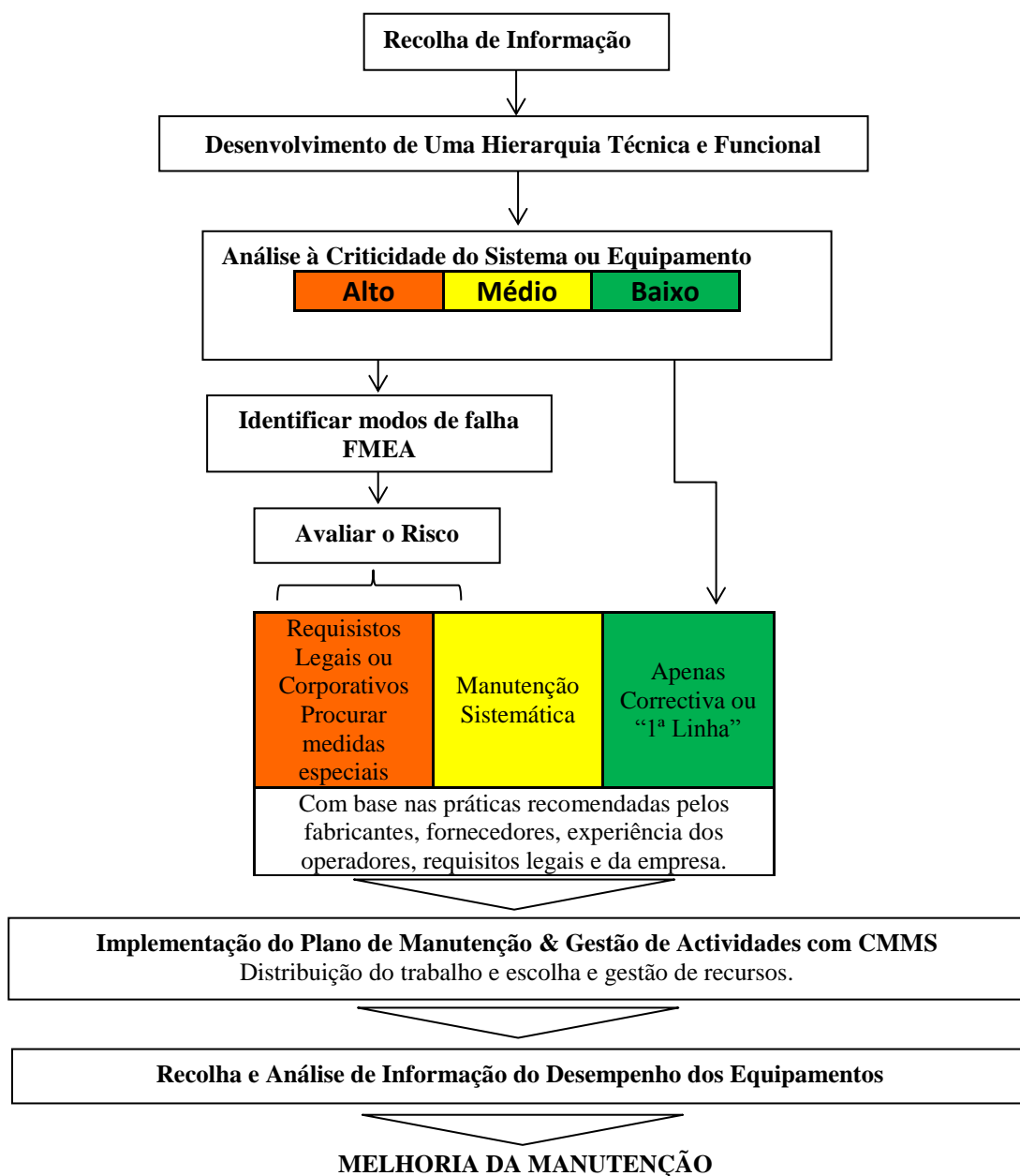


Figura 21 – Processo de Desenvolvimento de uma Estratégia para a Manutenção, (adaptado de [7]).

Se num determinado equipamento há uma falha, a severidade desta será baseada apenas nas consequências desta e não da sua origem. E a capacidade de um equipamento conseguir cumprir as suas funções estará associada ao seu estado geral, condições de operação que influenciarão a sua fiabilidade e propensão para falhar. Uma vez que estas estão separadas, a avaliação das consequências é independente do tipo ou metodologia de Manutenção utilizada. A definição da criticidade com base nas consequências poderá ditar, numa primeira fase, qual o caminho a tomar assim e definir recursos de recursos de forma independente da probabilidade de falha de um determinado equipamento.

A avaliação das consequências é feita seguindo os efeitos das perdas das principais funções de um sistema, as MF (*Main Function*), esta define-se aos três níveis, consequências humanas, económicas onde estão associados os custos devido à perda de operação e ambientais. A NORSOK Z-008 [4] fornece as orientações necessárias para estruturar os equipamentos de forma a evidenciar estas MF e os efeitos das consequências em caso de falha destas.

Conforme poderá ser visto mais a frente, a norma Z-008 [4] tem especial preocupação nos equipamentos de segurança e contempla durante o processo de gestão baseado no risco de uma série de preocupações que deverão ser tidas em conta, nomeadamente:

- Conhecer bem as possíveis consequências aos três níveis no caso de perda das MF dos equipamentos;
- Redundância funcional nos equipamentos, considerar factores que poderão minimizar os efeitos de falha;
- Detectabilidade de falha nos equipamentos, poderá estar associado aos mecanismos de detecção nas MF mais críticas;
- Disponibilidade e robustez nos equipamentos e MF's mais críticos.

No caso específico das inspeções a equipamentos estáticos, principalmente em tubagens e tanques, esta norma remete para a RP-G101 [37], que define planos de inspeção e metodologias como as NDT (*non destructive tests* – ensaios não destrutivos) de acordo com a criticidade. Neste caso, a utilização da Z-008 [4] pode ser utilizada na fase inicial, onde durante a construção da estrutura funcional são definidos quais os equipamentos incluídos neste âmbito, nomeadamente tanques e tubagens, avalia-se a sua criticidade, sendo os mais críticos remetidos para uma RBI.

Este ponto é importante de referir porque há uma clara separação nas metodologias a utilizar para equipamentos críticos e dinâmicos estando os últimos ao abrigo da metodologia RCM, no caso específico deste trabalho apenas a FMEA para identificação dos efeitos dos modos de falha. Nos métodos RBI, os mecanismos de falha nos equipamentos estáticos estão perfeitamente identificados

pelos mecanismos de degradação e avaliação da probabilidade destes acontecerem de acordo com uma série de condicionantes como tipo de material, meio, tipo de isolamento, protecções anticorrosivas activas (catódicas ou anódicas e passivas, como a pintura). Este tema não será alvo de estudo neste trabalho mas estão bem presentes dada a natureza do trabalho e por estar identificado como tema que deverá ser dominado na utilização da Z-008 [4].

4.3.2. Fase I – Definição de uma estrutura funcional e definição da criticidade com base nas consequências.

Previamente à análise de criticidade, é necessário criar uma estrutura que apresente as interdependências entre equipamentos e que permita fazer perceber e “ver”, de forma global, as consequências em caso de perda da MF. Estando definida esta estrutura, e posterior definição da criticidade dos equipamentos, ficam criadas as condições para definir a acção da Manutenção com base no risco.

Na figura 22 encontra-se definido o processo para esta fase que estabelece as várias etapas que serão desenvolvidas de seguida.

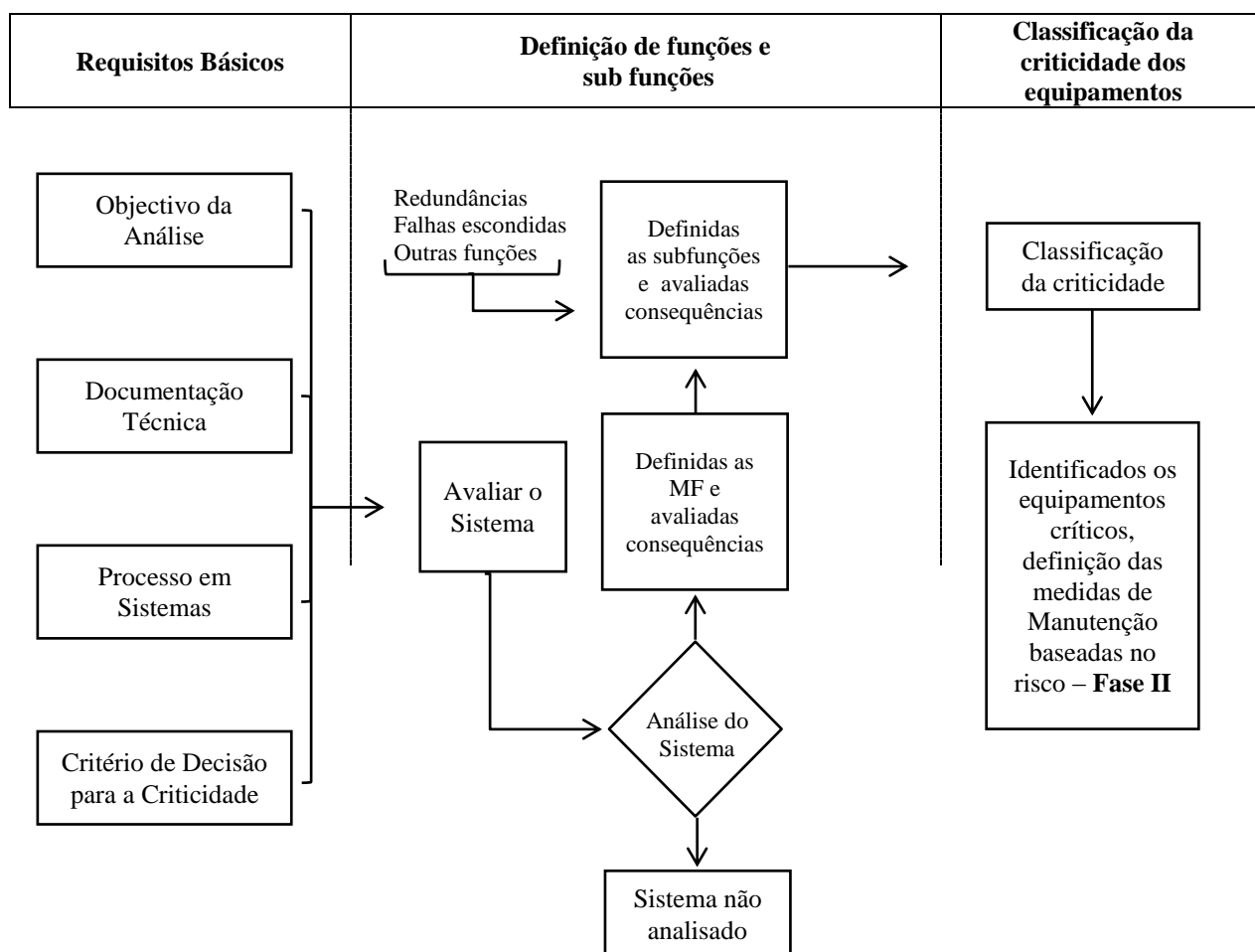


Figura 22 – Definição de uma estrutura funcional e definição da criticidade, (adaptado de [4]).

4.3.2.1. Informação Técnica e Operacional

Deverão ser reunidos desenhos, diagramas de processo e instrumentação P&ID, documentação referente aos equipamentos e condições de operação como a quantidade e tipos de produtos armazenados. Mais uma vez a importância da questão da informação, a organização deste recurso como uma base para a melhoria da acção da Manutenção.

4.3.2.2. Definição de Sistemas e Subsistemas

Criação de sistemas operacionais com a criação de “fronteiras” de acordo com a sua natureza que poderão estar subdivididos em subsistemas previamente a qualquer tipo de análise, seja a função requerida MF, seja às consequências em caso de falha desta. O nível de detalhe será definido pelas características do sistema e que tipo de análise será feita, para equipamentos mais críticos o nível de detalhe poderá ser feito até ao último nível e apenas ao nível de sistemas para outras questões sem qualquer tipo de ligação a questões de processo ou segurança.

A separação prévia em sistemas e subsistemas oferece a vantagem de poder avaliar de uma forma rápida quais os grupos de interesse para a análise risco, por exemplo equipamentos e funções sem qualquer tipo de ligação a questões processuais ou de segurança poderão ser excluídos de níveis de detalhe tão evoluídos como o caso das MF e subfunções que exigem muito mais trabalho a nível de detalhe e organização. Este tema é algo recorrente e encontra-se especificamente normalizado pela norma ISO 14224 [38].

Conforme é referido anteriormente, esta separação é feita de forma hierárquica a vários níveis onde os sistemas são separados de acordo com o propósito da sua MF, por exemplo bombagem, aquecimento, armazenamento. Segundo a Z-008 [4] esta separação é feita a 5 níveis descritos na tabela 12.

Tabela 12 – 5 níveis para definição de sistemas e subsistemas funcionais.

Nível	Classificação	Descrição Prática
1	Sistema	Definição da Instalação
2	Subsistema	Sistemas gerais que poderão passar pelo processo em si, sistemas de segurança ou sistema de menor importância.
3	MF – Função Requerida	Definição das funções requeridas para um determinado sistema, bombagem de..., arrefecimento de...
4	Subfunções – Equipamento	Chegamos ao nível da acção da Manutenção, por exemplo bomba de envio para navio.
5	<i>Tag Number</i>	Manómetro, filtro, botoneira de corte, válvula de alívio de pressão. O <i>Tag Number</i> identifica o tipo de equipamento e função.

No caso específico da norma Z-008 [4] a separação em MF e subfunções marginaliza um pouco os equipamentos estáticos no caso de ser necessário utilizar uma RBI. A separação está mais adaptada a equipamentos dinâmicos e à acção da Manutenção, dividindo os equipamentos por subfunções requeridas remetendo para a RP-G101 na presença de equipamentos estáticos, onde haja necessidade de planos de inspecção específicos.

Em contrapartida a RP-G101 [37] considera que os equipamentos devem estar separados por grupos de corrosão, de acordo com factores que possam acelerar mais ou menos este processo (pelo fluido que transporta, meio envolvente, etc...) ou grupos segregados por ESD (*Emergency Shut Down*) – separação de troços pelas suas válvulas de corte de emergência que poderão sujeitar tubagens a condições especiais. Dentro destes grupos, são identificados vários equipamentos cuja sua criticidade irá definir o método de inspecção.

Esta questão é contornável garantindo a estrutura de classificação contemplada na Z-008 [4] mantendo os equipamentos estáticos ao nível das subfunções, e caso se justifique, fazer a separação de forma a poder desenvolver uma RBI. A Figura 23 ilustra essa separação entre os aspectos técnicos e administrativos.

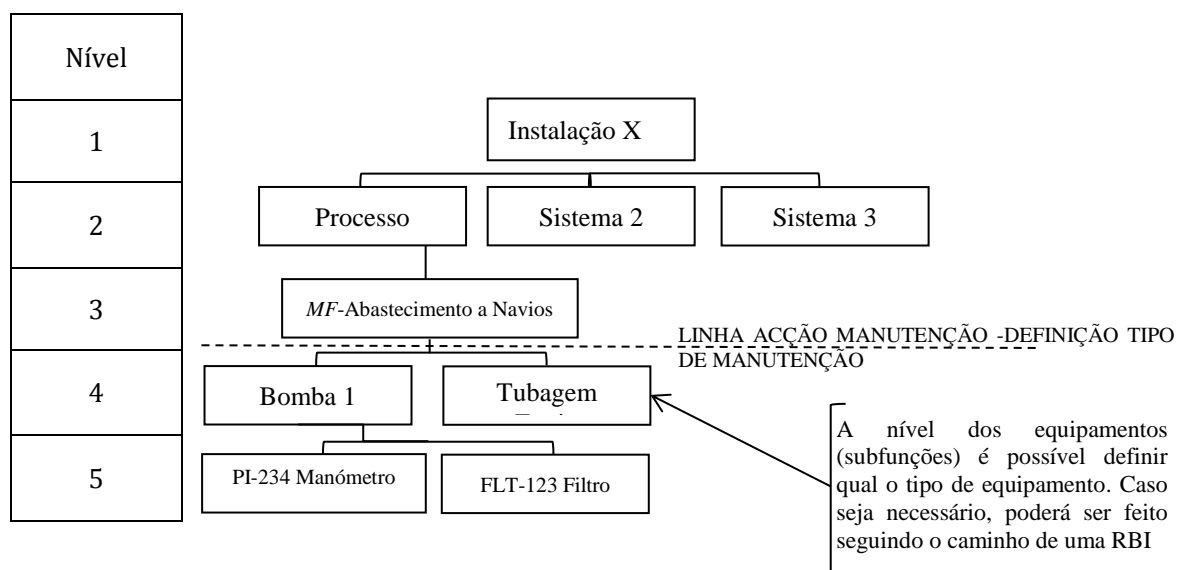


Figura 23 – Esquema de exemplo para definição de sistemas e subsistemas.

Este tipo de estrutura, apesar de ser um conceito intuitivo, obriga a bom conhecimento da instalação de forma a conseguir uma estrutura “realmente funcional” e reflecta a operação. Todos os sistemas são constituídos pelas suas funções principais, que por sua vez são constituídas pelas suas subfunções onde poderemos incluir os equipamentos estáticos e estas subfunções estão inseridos os vários equipamentos que a compões. No exemplo específico de uma tubagem em regime de ESP, poderá ser definida ao nível das subfunções e as válvulas de segurança,

manómetros e a própria tubagem no nível dos equipamentos, ou seja, esta separação poderá ser feita sem comprometer uma eventual necessidade de introduzir uma RBI.

4.3.2.3. Definição das Funções Requeridas – MF e Subfunções

Conforme abordado anteriormente, a separação em sistemas (MF) permite segregar a instalação em instalações mais pequenas e mais simples do ponto vista operacional, as instalações de armazenagem definem-se regra geral em apenas por 3 ou 4 sistemas, processo, segurança e outros equipamentos como por exemplo infra-estruturas e equipamentos secundários. Para a análise de criticidade, é necessário avaliar os subsistemas existentes, segundo o critério existente e segregar à partida questões em que o benefício da avaliação não trará nenhuma melhoria efectiva, ficando postos de fora destas definições.

Na Z-008 [4] são feitas algumas definições genéricas acerca das eventuais MF que possam existir e é apresentada uma lista de exemplos. Esta norma recomenda a utilização de um sistema de codificação para estas MF e definição dos respectivos códigos nos P&ID's da instalação. Regra geral os *Tag Number* de identificação dos equipamentos são definidos em fase de projecto e são orientados por normas próprias. Este tema é tratado de forma muito genérica pela norma, dado que será condicionado pelo tipo de operação e instalação.

No caso em particular das subfunções a Z-008 [4] define uma lista para caracterizar as subfunções “tipo” mais frequentes. Será mais fácil definir esta lista de subfunções porque estas estão orientadas para os equipamentos em si, aplicando-se de forma independente ao tipo de operação ou instalação. Serve também como base para a criação de números de identificação *Tag*.

Na definição das subfunções a Z-008 [4] define um ponto muito importante para avaliação da criticidade,

“Todos os equipamentos identificados deverão estar associados a um número Tag e respectiva função. No caso de um equipamento ou instrumento cumprir mais do que uma função, deverá prevalecer na identificação a função mais crítica.”

Na tabela 13 listam-se algumas das MF mais prováveis e previstas para as instalações de armazenagem no âmbito do processo.

Tabela 13 – Exemplos de Principais Funções e Subfunções num terminal de armazenagem.

MF	Subfunções
101.Recepção e Expedição por Navio	Bombas
	Tubagens
	Válvulas de segurança
	Sistema de monitorização de descarga
	Sistemas de controlo da descarga
102.Tanque de Armazenagem X	Tanques
	Válvulas de corte (Nível Muito Alto)
	Válvulas de segurança
	Sistema de Sondagem, nível e temp.
	Tanques de dreno e separação de água
103.Expedição de Gasóleo por Carro Tanque	Expedição Produto A, B...
	Skid aditivação 1, 2,...
	Sistemas de detecção de sobre enchimento
	Válvulas de corte
	Sistema de gestão de abastecimentos

Na Figura 24 é utilizado o exemplo da Z-008 [4] que utiliza um sistema de bombagem para descrever as várias subfunções que poderão surgir.

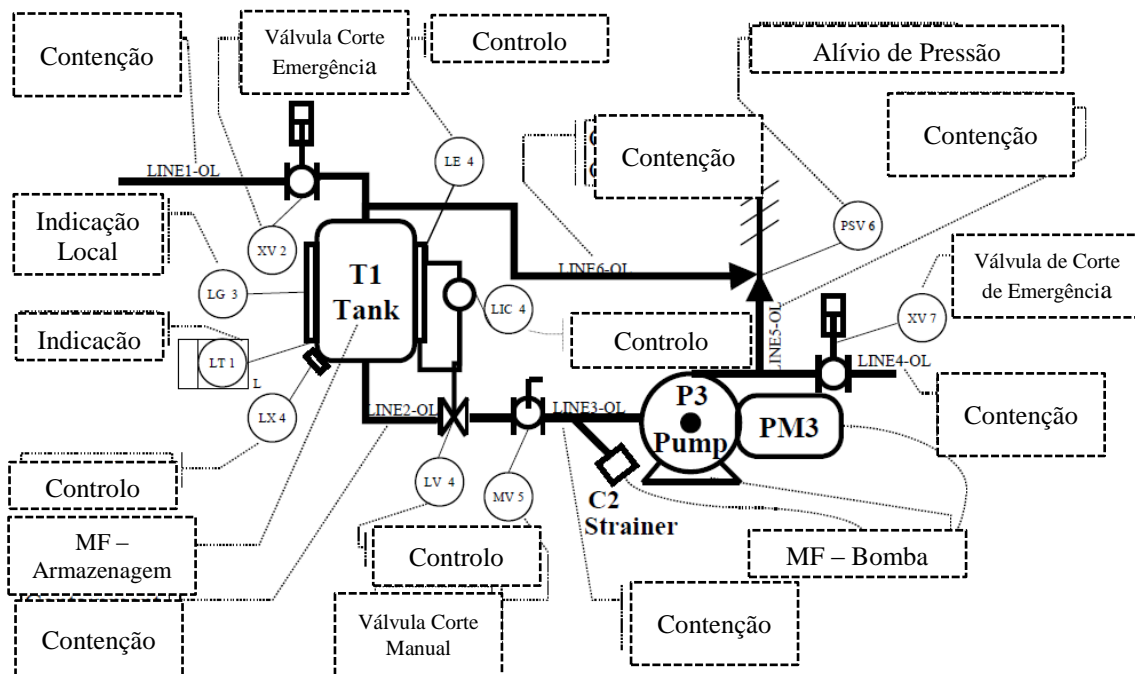


Figura 24 - Exemplo de subfunções numa função principal MF, (adaptado de [4]).

Lista de Subfunções

- Definição da função principal (por ex. bombagem);
- Alívio de pressão;
- Equipamentos de paragem de emergência (botoneiras e ou válvulas de corte ou paragem);
- Instrumentos de medida (pressão, nível, temperatura, etc.);
- Instrumentos de controlo (nível muito alto, temperatura/pressão/vibração limite);
- Instrumentos de indicação local (manómetros, termómetros);
- Válvulas manuais de corte;
- Armazenagem/contenção do produto em operação.

4.3.2.4. Definição de Redundâncias

Um dos temas identificado na Z-008 [4] prende-se com a avaliação das consequências por perda de uma determinada função considerando a presença de redundâncias que poderão colmatar nos equipamentos.

Esta define três níveis de redundância que deverão ser cruzados com as avaliações de risco quando avaliada a criticidade de equipamentos. Por exemplo, do ponto de vista económico as consequências da operação poderão ser levadas a nível inferiores na existência de redundância(s).

Os três níveis e caracterização são apresentados na tabela 14.

Tabela 14 – Níveis de Redundância, (adaptado de [4]).

Nível de Red.	Definição do nível de Redundância
A	Sem qualquer tipo de redundância para a <i>MF</i> ou subfunção
B	Prevê uma redundância para a <i>MF</i> ou subfunção
C	Prevê mais do que uma redundância para a <i>MF</i> ou subfunção

Estes cruzamentos entre índice de criticidade e nível de redundância ajudam a perceber o verdadeiro risco associado aos equipamentos. Desta maneira a avaliação é feita de uma forma mais global, não fazendo a avaliação de risco apenas com base nas consequências em caso de falha e avaliação de redundâncias de forma separada.

Apesar de considerar as redundâncias tanto para as MF ou as subfunções, a Z-008 [4] diz que ao nível da avaliação de risco de uma determinada MF deve ser evitada a inclusão deste critério. Este

facto deve-se à dificuldade e exigência de avaliar a criticidade de uma determinada função definida por uma associação de subfunções em série e estas com níveis de redundância diferentes.

Conforme se pode observar pela tabela 15, a utilização de níveis de redundância permite uma abordagem às práticas de Manutenção de uma forma melhorada. Não olha apenas para a criticidade ao nível de perdas de operação, considerando apenas a falha do equipamento, mas sim como o processo ou equipamento que estará assegurada por uma redundância minimizando o risco associado.

Tabela 15 – Matriz de cruzamento entre redundância e criticidade.

Nível de Redundância	Nível de Criticidade		
	Alta	Média	Baixa
A	AA	MA	BA
B	AB	MB	BB
C	AC	MC	BC

A figura 24 dá o exemplo de como uma redundância pode ser comprometida por equipamentos a montante e a jusante do processo sem a duplicação de uma qualquer função requerida.

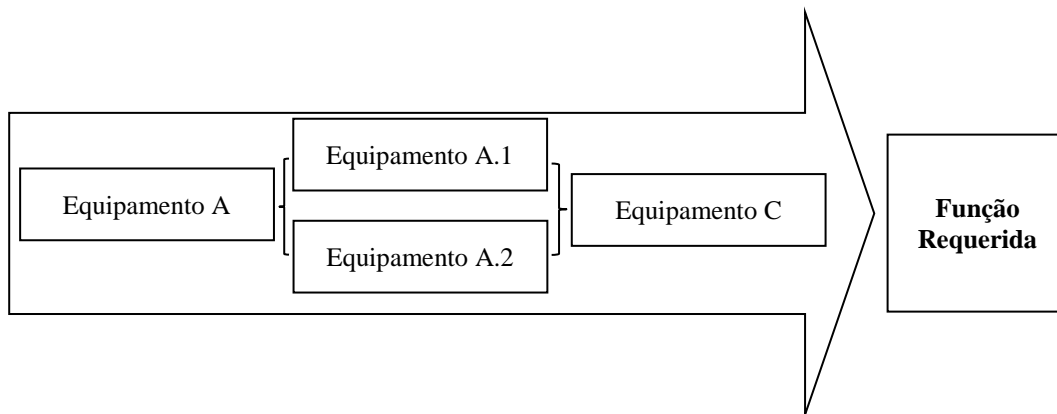


Figura 25 – Redundância das subfunções.

4.3.2.5. Critério de Decisão – Avaliação da Criticidade com Base nas Consequências

Previamente à determinação dos níveis de criticidade para cada equipamento, é necessário criar classes que definam os vários níveis de severidade após a avaliação de consequências. Esta

criticidade define os níveis de preocupação para um determinado equipamento a nível de segurança e ambiente mas também os custos de reparação e perda de operacionalidade da instalação.

Os critérios de avaliação a utilizar na criticidade são um assunto vasto definidos ao nível da gestão e regra geral de aplicação corporativa. Exigem experiência e estão muito mais viradas para departamentos de segurança e ou ambiente do que para a acção da Manutenção não sendo mais exploradas do que a este nível neste trabalho.

Cabe à Manutenção auxiliar na avaliação da criticidade das várias MF, subfunções, equipamentos e as várias interdependências destas, atribuindo os níveis de criticidade correctamente e garantir que toma decisões com base neste critério com concentração de recursos e introdução de medidas de salvaguarda nos mais críticos.

Como é referido atrás, legalmente, o que é exigido hoje já garante uma certa preocupação com alguns tipos de equipamentos mas não é o suficiente para que sejam identificados todos os equipamentos de risco e garantidas principais medidas a nível de Manutenção que reflectam as preocupações da empresa a nível da segurança e ambiente. Estes níveis legais garantem apenas o mínimo indispensável e terá que ser a empresa a definir qual o nível de risco aceite indicando a criticidade do equipamento.

A dificuldade estará no equilíbrio entre não exigir níveis tão exigentes que serão impossíveis de manter e não ter níveis pouco ambiciosos, fáceis de cumprir mas que não garantem os interesses da empresa.

Hoje em dia é muito utilizado o conceito ALARP (*As Low As Reasonably Practicable* – tão baixo quanto razoavelmente possível) para a definição dos níveis de risco. Um risco que se considere em nível ALARP deverá ser possível provar que a redução abaixo do nível actual é desproporcional aos benefícios eventualmente obtidos (ver figura 25).

Não sendo a avaliação de custo benefício um tema a abordar neste trabalho, é importante referir que a utilização do conceito ALARP para a avaliação da implementação de medidas na Manutenção é algo complexo. O resultado de uma determinada medida não é algo permanente e terá que ter tido em conta na hora de avaliar a eficácia na redução de risco. Os equipamentos são muito complexos e não tão previsíveis, principalmente os dinâmicos, para se assumir uma determinada redução no risco após implementada uma determinada Manutenção ou inspecção. Este facto dificulta a percepção da redução do nível de risco face ao custo de implementação e consequentemente a avaliação custo benefício da Manutenção.

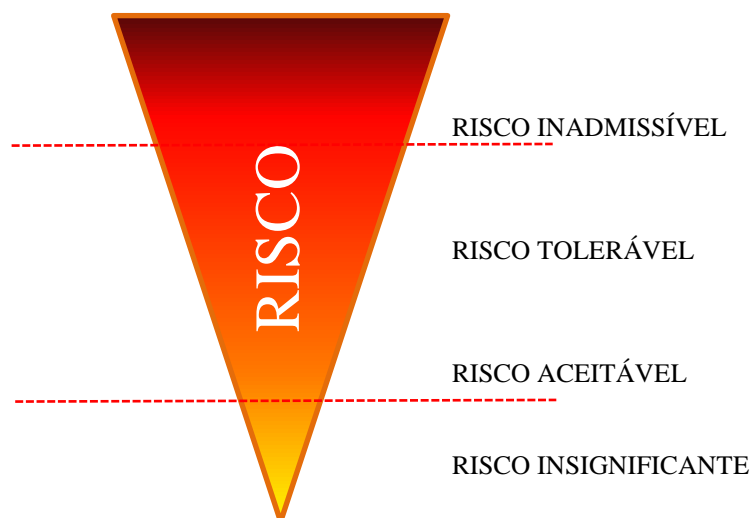


Figura 26 – Conceito ALARP.

4.3.2.6. Níveis de Criticidade

A norma Z-008 [4] defende que deverão ser definidos três níveis de criticidade, Alta, Média e Baixa em função das consequências em caso perda de funções, tanto ao nível das MF como ao nível dos equipamentos e deverão estar de acordo com os critérios corporativos de SSA, operacionais e financeiros.

A tabela 16 caracteriza os 3 níveis de criticidade de forma qualitativa ao nível dos equipamentos de uma forma geral e a tabela 17 para os com funções específicas de contenção, ou seja, os estáticos.

Tabela 16 – Criticidade para equipamentos.

NÍVEL CRITICIDADE	S.S.A	PRODUÇÃO	CUSTO
ALTA	Riscos potenciais com perda de vida humana; Perda de funções de segurança e alarme; Potencial fonte poluente de grandes dimensões; Potencial fonte de fogo em área classificada	Quebra da operação mais do X tempo até se restabelecer condições	Custo total associado à perda de operacionalidade superior a X€
MÉDIA	Riscos potenciais com lesões graves; Compromete parcialmente a segurança; Fonte poluente de dimensões médias;	Quebra da operação mais do Y tempo até se restabelecer condições	Custo total associado à perda de operacionalidade superior a Y€
BAIXA	Sem risco para o ser humano; Sem risco para a segurança da instalação; Sem risco ambiental;	Quebra da operação mais do Z tempo até se restabelecer condições	Custo total associado à perda de operacionalidade superior a Z€

Tabela 17 – Criticidade para função contenção.

Nível	Saúde, Segurança e Meio-Ambiente (HSE)
ALTO	Hidrocarbonetos com ponto de inflamação baixo; Vapor de água a alta pressão; Produtos e vapores tóxicos;
MÉDIO	Hidrocarbonetos de ponto de inflamação alto; Vapor de água a baixa pressão; Quantidades pequenas de produtos tóxicos;
BAIXO	Produtos não inflamáveis; Gases inócuos e a baixa pressão;

Os efeitos das consequências irão estar também dependentes do sítio de derrame para além do tipo de produto contido, existência de bacia de contenção, mar ou rio aberto. Esta tabela serve como suporte para definir prioridades na inspeção de reservatórios ou tubagens (equipamentos estáticos) onde essencialmente o risco existente são o meio envolvente e produtos contidos.

Segundo a Z-008 [4], a avaliação da criticidade é feita em dois passos, primeiro avaliar a criticidade das MF (triagem) e posteriormente avaliar a criticidade das subfunções. Ver figura 27 que ilustra este mesmo processo.

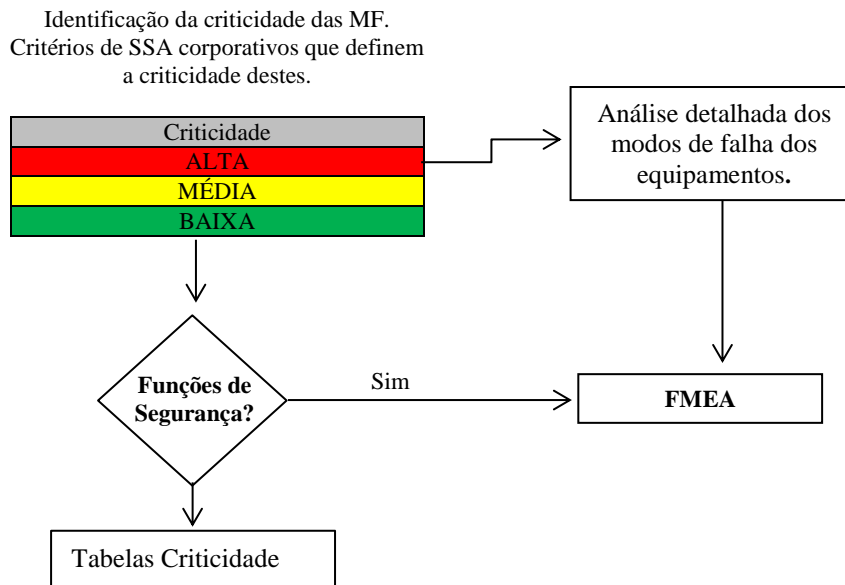


Figura 27 – Processo Avaliação de Risco nas MF e subfunções, (adaptado de [4]).

4.3.2.7. Avaliação da Criticidade nas MF

No caso das MF, a Z-008 [4] recomenda a utilização das tabelas com os três níveis de criticidade com o critério para avaliação pré-estabelecido. Deverá ser feito contemplado o efeito mais grave e realista desta MF e quantificar qual o nível de criticidade cruzando com as consequências.

É recomendado que este processo de avaliação da criticidade das MF seja feito recorrendo a pessoal com experiência na avaliação de risco e envolvendo várias partes desde responsáveis de segurança e pessoal das operações. A este nível a criticidade é mais uma questão operacional e está mais associada com a identificação dos riscos ocupacionais, como a HAZOP ou aos riscos financeiros de uma forma muito mais geral e fora do raio de acção da Manutenção. O critério de decisão poderá estar associado a vários temas tais como:

- Tipo de produto operado, ponto de inflamação e toxicidade;
- Condições de operação do produto, temperatura, pressão ou do meio exterior de operação que possa ser mais vulnerável;
- Se tem funções de segurança, funções estas que em caso de falha possam ter consequências graves para pessoas e ambiente;
- Por imposição de potenciais custos envolvidos no caso de falha de operação que a tornem crítica que justifique um esforço adicional na operação e Manutenção;

A definição da criticidade nas MF é importante e acaba por afectar o esforço de caracterização e avaliação de risco das subfunções, nível onde é definida em concreto a acção da Manutenção.

4.3.2.8. Avaliação da Criticidade nas Subfunções

A este nível a intervenção da Manutenção já é directa, uma vez que serão definidos os esforços da Manutenção em concreto de acordo com os níveis de criticidade. Para as subfunções, sistemas e equipamentos a Z-008 [4] estabelece que para as subfunções:

Em geral:

- Utilização das tabelas que definem os três níveis de criticidade segundo o mesmo critério utilizado nas MF, atribuindo o valor de criticidade de acordo com as consequências;
- O peso da criticidade atribuída à MF onde se inserem será determinante para esta avaliação.

Com funções específicas de segurança:

- Equipamentos com funções de segurança serão sempre considerados de criticidade Alta pela natureza das suas funções e consequências ao nível de SSA;

A Z-008 [4] apresenta também uma forma de avaliar a criticidade das subfunções caracterizando estas pela sua função tipo e avaliando o impacto da perda sua função na MF com recurso a uma tabela. A criticidade da MF dita de uma forma geral a criticidade de quase todas as subfunções. É

uma forma prática e eficaz de identificar quais as subfunções mais críticas que requeiram mais atenção por parte da Manutenção cruzando-as com a criticidade da própria MF.

A tabela 18, abaixo apresentada, exemplifica uma forma de avaliar o risco das subfunções segundo a Z-008 [4], dando o nível de criticidade para os temas de SSA, perdas de produção e custos económicos

Tabela 18 - Avaliação da Criticidade das Subfunções, (adaptado de [4]).

Tipo de Subfunção	Avaliação Por de Perda de Função	Grau de Redundância.	Avaliação de Consequências		
			SSA	Ope.	Eco.
MF		MF	MF	MF	MF
Alívio de Pressão	Red. – Não tem redundância SSA – Tem consequências graves para as pessoas; Op. – Reparação que obrigaria a reparações por algum tempo. Indexado ao tempo e custo por paragem na MF; Custo – Considerável	A	H	MF	M
Sistema de Segurança A	Red. – Não tem redundância SSA – Consequências graves para as pessoas e ambiente; Op. – Reparação que obrigaria a reparações por algum tempo. Indexado ao tempo e custo por paragem na MF; Custo – Elevado	A	H	MF	H
Equipamentos de Corte	Red. – Não tem redundância SSA – Tem consequências graves para pessoas e poderá provocar derrames consideráveis; Op. – Estragos consideráveis com reparações que obrigariam a reparações com paragem na MF por tempo elevado; Custo – Considerável	A	H	MF	M
Equipamentos de Controlo	Red. – Não tem redundância, indexado à redundância da MF; SSA –indexado à criticidade da MF; Op. –indexado à criticidade da MF Custo –indexado à criticidade da MF;	MF	MF	MF	MF
Indicadores Locais	Red. – Não tem redundância, indexado à redundância da MF; SSA –baixa, sem qualquer tipo de consequência ao nível pessoas, ambiente ou segurança Op. –Sem qualquer tipo de consequências na MF Custo –Desprezável	A	B	B	B
Funções de Contenção	Red. – Normalmente sem redundância; SSA, OP e C – *Indexado ao tipo de produto e condições em que é operado, ver tabela específica para a função de contenção	A	*	MF	*
Outras...					

A Z-008 [4] para as subfunções de elevada criticidade, pela natureza da própria MF ou por cumprirem funções do foro da segurança, recomenda a utilização de uma análise FMEA para uma

análise detalhada dos modos falha e os seus efeitos identificando assim os componentes mais críticos.

Em muitas destas funções a sua criticidade estará obviamente indexada à MF onde se inserem, a perda de funções de controlo de uma MF pouco crítica terá naturalmente consequências menos graves do que numa muito crítica. Ao contrário das funções de segurança, estas são separadas da criticidade da função em si, apenas avaliando-se pelos efeitos nas pessoas e ambiente em caso de perda de função.

4.3.3.Fase II – Modelo para Gestão da Manutenção - Avaliação do Risco e Análise aos Modos de Falha

Após a estruturação funcional e hierárquica, definição de risco aos equipamentos e atribuição de nível de criticidade, é possível implementar um modelo de gestão com base no risco. Conhecendo o risco associado aos equipamentos, é possível estabelecer uma acção “à medida” para a Manutenção. Nesta fase final, a principal preocupação será estabelecer de forma justificada a acção de Manutenção com especial foco nos equipamentos críticos. A Figura 28 ilustra o fluxo previsto para a fase II do modelo apresentado pela Z-008 [4]. Após uma avaliação de risco é definida a acção da manutenção.

Este modelo para a gestão da Manutenção procura essencialmente:

- As salvaguardas propostas nas actividades de Manutenção dos equipamentos são as mais adaptadas e eficazes de acordo com a sua criticidade;
- Garantir que existem mecanismos para análise dos modos de falha dos equipamentos mais críticos para introdução de medidas de salvaguarda justificadas.

Na norma Z-008 [4] são definidos essencialmente dois caminhos para estabelecer um plano de Manutenção preventiva aos equipamentos de acordo de criticidade Média e Alta:

- Utilização de “*Generic Maintenance Concepts*” – Conceito que define procedimentos de Manutenção pré-estabelecidos para o tipo de equipamento em causa;
- Utilização de análise detalhada aos modos de falha – No caso de equipamentos onde não sejam aplicáveis procedimentos existentes ou cuja especificidade e criticidade assim o exijam é recomendado a utilização programa de Manutenção RCM, mais concretamente o definido pela norma IEC 60300-3-11 [39].

A Z-008 [4] faz uma série de recomendações que deverão ser contempladas para uma gestão da Manutenção baseada no risco, onde a melhoria passa por sistematizar e definir vários níveis de Manutenção de acordo com a criticidade.

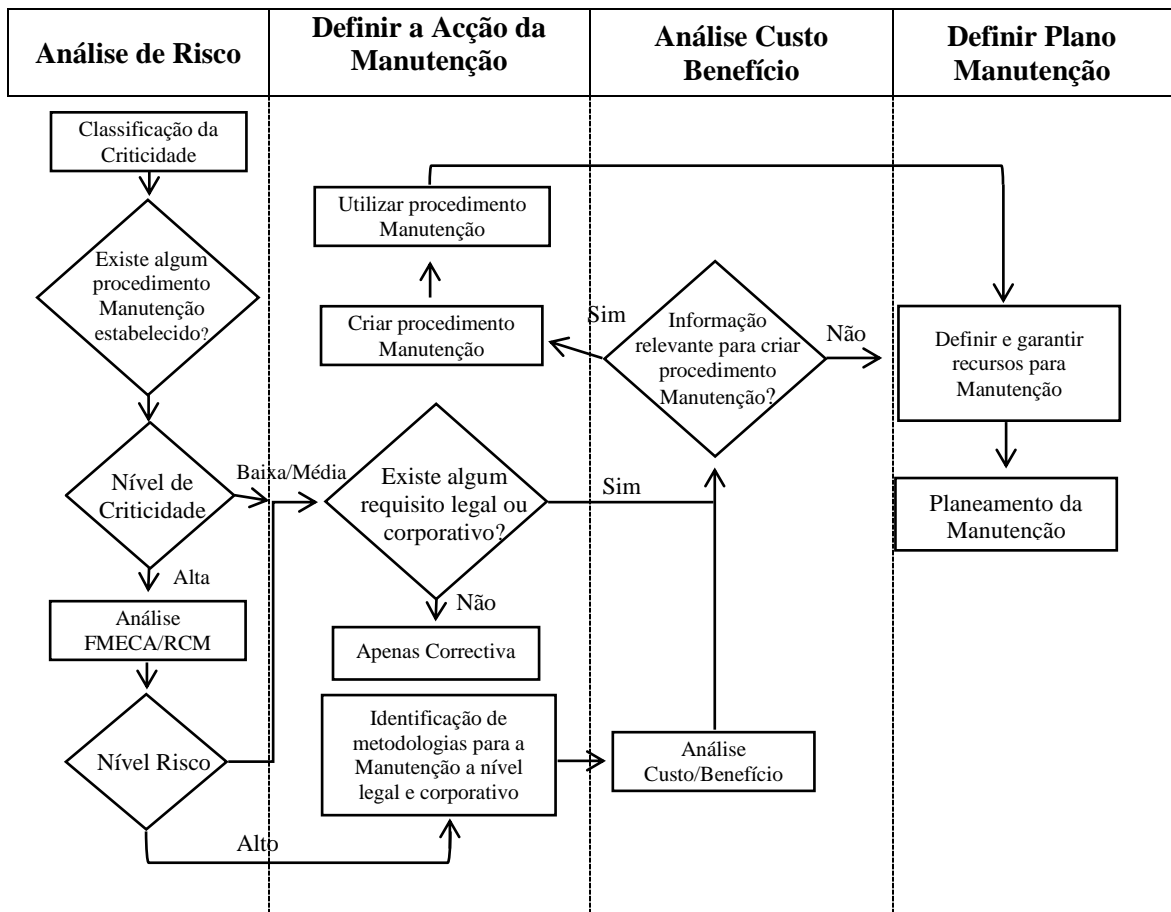


Figura 28 – Diagrama para definição de um modelo para a gestão da Manutenção com avaliação de risco, (adaptado de [4]).

De forma resumida, pode-se definir as várias acções contempladas no processo para a gestão da Manutenção para os vários níveis de criticidade dos equipamentos.

Equipamentos de Baixa Criticidade

- Verificar se existe algum requisito legal ou corporativo que exija alguma acção em concreto (por ex. um empilhador pode estar sujeito a verificações periódicas ao abrigo do DL 50/2010 [14]);
- Verificar se é necessário proceder a algumas acções preventivas ou verificação periódica. Se nada comprometer, estabelece-se intervenções apenas ao nível da correctiva.

Equipamentos de Média e Alta Criticidade

Estes passam por dois caminhos, essencialmente ou existe conhecimento e procedimentos pré definidos, ou então recomenda-se uma análise detalhada aos modos de falha.

Equipamentos sujeitos a análise aos modos de falha para a definição das acções de Manutenção:

- Verificar se os equipamentos estão ao abrigo de algum requisito legal ou corporativo incluindo os eventuais análises de risco;
- Conhecer e dominar os modos de falha, a probabilidade aproximada destes acontecerem, os seus mecanismos de falha e tempos de reparação (TTR) nos equipamentos mais críticos poderão ajudar a perceber e justificar a necessidade de sobresselentes;
- Acções de Manutenção previstas para reduzir a probabilidade de uma determinada falha e a detectabilidade das falhas.

Equipamentos onde sejam aplicadas acções de Manutenção baseadas na experiência e cruzadas com dados de operação e Manutenção:

- Utilização deste tipo de Manutenção, principalmente em equipamentos com funções de segurança, deverá ser bem fundamentada e baseada em registos históricos. Deverá estar explícito qual o critério de disponibilidade e verificar se este é cumprido;
- Existência de indicadores que podem cruzar os ensaios de funcionamento bem sucedidos e mal sucedidos.

4.3.2.9. Utilização procedimentos de Manutenção pré-definidos – *Generic Maintenance Concept*.

É de crer que uma das grandes mais valias da Z-008 [4] é assumir utilização de planos de Manutenção preventiva normalizados desde que sejam respeitados alguns aspectos e que seja possível evidenciar a sua eficácia. Na Z-008 [4] a definição de *Generic Maintenance Concept* aparece como:

“Um conjunto de acções de Manutenção que apresenta um método economicamente eficaz para um determinado grupo específico de equipamentos a trabalhar sobre condições semelhantes”

Permite o cruzamento da experiência com equipamentos bem conhecidos, não negligenciando a experiência com a exploração de um determinado tipo de equipamentos e não obrigando a implementação de metodologias de forma ortodoxa e inflexível. Obviamente, o cruzamento de experiência deverá estar sempre sensível às várias questões existentes ao nível de SSA, económicas e operacionais. E no caso concreto dos equipamentos com funções de segurança, deverão existir indicadores de desempenho para monitorização de eficácia na utilização deste tipo de planos de Manutenção.

Este conceito pode ser desenvolvido de forma a:

- Reduzir e simplificar o esforço na execução dos planos de Manutenção para equipamentos críticos;
- Garantir uma Manutenção consistente e normalizada.

A sua utilização é recomendada quando:

- Existem equipamentos similares nas características e meio que envolve;
- Existem equipamentos com modos e frequências de falha semelhante;
- Existem equipamentos nestas condições em quantidades suficientes

Segue a título de exemplo alguns equipamentos e respectivas práticas de Manutenção mais comuns que podem ser implementadas num terminal de armazenagem. No caso de tubagens o critério até é bastante simples, poderemos utilizar um conjunto de verificações já estabelecidas em tubagens em contexto ESP. Uma tubagem sobre o mar, poderá não estar incluída em contexto ESP, mas o meio marítimo e as consequências em caso de derrame justificarem uma criticidade alta. A estas poderá justificar inspeções ao nível da medição, monitorização de espessuras e planos de pintura sistematizados.

Tabela 19 – Exemplo de adaptação de práticas de ESP's em equipamentos críticos.

Equipamento Tipo	Manutenção Prevista
Tubagens Críticas com <i>DN.PS <ESP</i>	Pintura sistematizada de 3 em 3 anos com esquema anticorrosivo estabelecido; Medição de espessuras por OI de 5 em 5 anos Registo e monitorização de espessuras;
PSV's – Válvulas de alívio de pressão	Prova e registo de pressão abertura; Registo de eventuais afinações necessárias; Critério dos ESP's 5 em 5 anos;
Flexíveis Críticos (abastecimentos a navios)	Prova hidráulica anual com registo de alongamento; Medição da condutibilidade.

Algumas recomendações para o desenvolvimento deste tipo de prática:

- Definir do tipo de equipamento para as quais são aplicáveis;
- Definir condições e o quadro de operação;
- Eventuais requisitos legais e corporativos a cumprir;
- Definição do nível de criticidade bem justificado assim como as consequências em caso de falha nos equipamentos com funções de segurança.

4.3.2.10. Análise aos Modos de Falha, FMEA – Medidas de salvaguarda nos equipamentos críticos

Na impossibilidade de implementar um procedimento de Manutenção já existente, ou porque não existe ou porque os existentes não se adequam às exigências de operação de um equipamento crítico, é recomendado a utilização de uma abordagem à Manutenção centrada na fiabilidade, a RCM (*Reliability Centred Maintenance*). A Z-008 [4] remete para a norma IEC 60300-3-11 [39] que fornece as directrizes para a implementação e desenvolvimento de uma RCM.

Utilizando a definição de John Moubray no seu livro [40]:

“RCM é um processo que procura definir as acções de Manutenção que devem ser garantidas para que um determinado equipamento cumpra a função a que está destinado”.

É um processo que procura a máxima fiabilidade de uma determinada função de um sistema ou equipamento.

O processo de definição da RCM é descrito muitas vezes em 7 perguntas.

- | | |
|--|---|
| 1-Quais as funções e qual o desempenho esperado de um determinado equipamento? | |
| 2-De que forma ele pode falhar para que deixe de cumprir as suas funções? | F |
| 3-Quais as causas das suas falhas? | M |
| 4-Quais as consequências das falhas? | E |
| 5-Qual a importância da falha? | C |
| 6-O que é que pode ser feito para prevenir que esta aconteça? | A |
| 7-O que é que deve ser feito quando uma acção preventiva não for suficiente para evitar a falha? | |

Destas 7 perguntas que definem o processo RCM importa registar as questões referentes à identificação de cada modo de falha e quantificação dos respectivos riscos associados aos modos de falha determinando a severidade com recurso à FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*).

O objectivo desta parte do trabalho não será descrever a metodologia RCM mas apenas introduzir e justificar a importância da identificação dos modos de falha e efeitos na gestão da Manutenção com a utilização da FMECA. No caso concreto deste trabalho apenas propõem-se apenas a utilização da FMEA para introdução de medidas de salvaguarda em equipamentos críticos, onde não haja critérios ou experiência nas actividades de Manutenção.

A combinação entre ausência de experiência operacional e gestão de risco obriga à utilização de ferramentas para a identificação dos efeitos e modos de falha, de modo a alcançar medidas de Manutenção devidamente fundamentadas e dimensionadas de acordo com o risco.

No caso particular deste trabalho apenas é proposta a utilização da ferramenta FMEA para introdução de medidas de salvaguarda em equipamentos críticos. Numa abordagem mais complexa poderá ser introduzida a análise à criticidade das falhas com introdução do factor risco conforme é explicado a seguir.

Utilizando como referência neste tema a norma das Forças Armadas dos EUA - MIL STD 1629A [41] ilustra de forma simplificada a diferença entre as metodologias FMEA e FMECA da seguinte forma:

FMEA + CA

Sendo:

FMEA – Identificação dos possíveis modos de falha de um sistema e os respectivos efeitos desses modos de falha

CA – Introdução da criticidade no modo de falha, resultante do produto entre a probabilidade desta acontecer e a sua severidade. Esta quantificação poderá ser feita de forma qualitativa a partir de uma escala de pontos que relaciona probabilidade de ocorrência de uma determinada falha (P_f), probabilidade desta ser detectável (P_d) e a severidade das consequências em caso de falha (S) dos vários componentes - RPN (*Risk Priority Number*) = $P_f \times P_d \times S$.

Uma grande vantagem da FMEA, e que leva a que esta seja adoptada como uma ferramenta viável mesmo em instalações mais simples e com menos recursos, é o facto de ser um método que não está dependente do registo de frequência de avarias ou ocorrências, restringindo-se a responder às seguintes questões:

- Como é que um dado componente pode falhar?
- Que mecanismos podem levar à falha e efeitos desta?
- A falha compromete a segurança?
- Como é que a falha pode ser detectada?
- De que forma o equipamento está salvaguardado originalmente para se defender dos efeitos da falha?

4.3.3. Implementação da Análise FMEA

A FMEA é um método qualitativo que estuda os possíveis modos de falha dos componentes, sistemas, projectos e respectivos efeitos gerados por esses modos de falha. O modo de falha é a expressão utilizada para caracterizar o processo e o mecanismo de falha que ocorre nos componentes. O efeito é a maneira como o modo de falha se manifesta. Cada componente poderá

ter diferentes modos de falha. Um modo de falha vai-se tornar mais evidente, dependendo da função que o componente está a desempenhar. O efeito segue a mesma lógica, mais evidente se tiver consequências mais severas.

Essencialmente a função da FMEA é identificar um determinado componente de um equipamento, verificar como este pode falhar e quais os efeitos da falha no conjunto ou função a que este está integrado.

Principais objectivos de uma análise FMEA [42]:

- Durante a fase de projecto garantir as melhores soluções em questões de fiabilidade prevendo os modos de falha possíveis;
- Identificar todos os potenciais modos falha que possam ter efeito durante a exploração de um equipamento;
- Listar os modos falha e qualificar a sua magnitude em termos de consequência;
- Desenvolver critérios para testes e procedimentos de Manutenção;
- Garantir registo histórico que servirá de referência para eventuais alterações nesses equipamentos e comparação com equipamentos semelhantes;
- Desenvolver prioridades na acção correctiva;
- Oferecer fundamento para decisões no campo das redundâncias, sistemas de segurança, detecção de avarias e sistemas “à prova de falha”.

A utilização de uma FMEA poderá ser utilizada nas várias fases de um equipamento/sistema:

- Fase conceptual ou de idealização;
- Fase de projecto e desenvolvimento;
- Procura de melhorias já em operação.

Previamente ao processo de análise FMEA deverão ser garantidos alguns aspectos, nomeadamente:

1. Definição do sistema, os seus limites no âmbito de operação e função requerida – definição da MF;
2. Definição das várias subfunções integradas na função principal;
3. Identificação das categorias de falha;
4. Descrição das condições de operação.

Todo este processo enquadra-se no descrito anteriormente em relação à identificação das interdependências entre sistemas, subsistemas, MF e subfunções e revela novamente a importância

deste tema. Garantindo-se esta estrutura e toda a informação relevante que possa ser identificada, há condições de realizar uma análise FMEA.

A figura 29 ilustra a necessidade de conhecer bem estas dependências nos equipamentos. Conforme é referido anteriormente no tema das redundâncias, a FMEA é uma ferramenta que ajuda a evidenciar estas dependências.

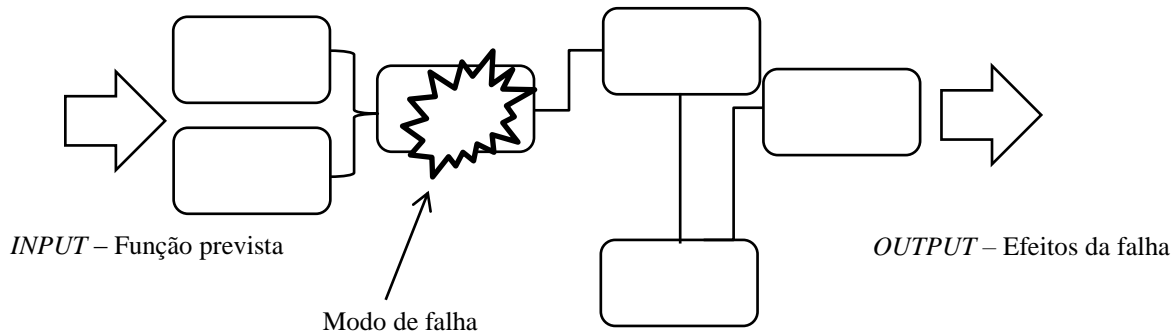


Figura 29 – Dependências entre componentes nos efeitos da falha, (adaptado de [42]).

Tipo de Análise

O método de análise atribuído à FMEA poderá ser feito de duas formas:

- *Bottom-Up* – Análise aos modos de falha dos componentes e verificar os efeitos deste no sistema;
- *Top-Down* – Parte-se dos efeitos no sistema e procura-se determinar as causas destes efeitos.

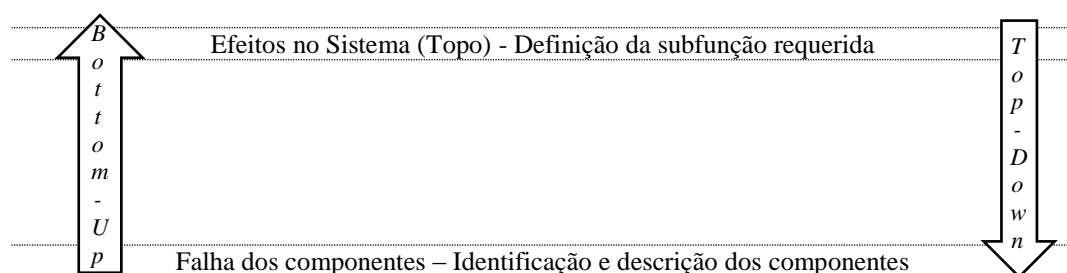


Figura 30 – Forma de análise *Bottom-Up* ou *Top-Down* na FMEA.

Processo de Implementação

O processo de implementação da FMEA é relativamente consensual e é definido em 6 passos. A definição destes passos segue a norma MIL STD 1629A [41] mas muito semelhante ao processo

utilizado numa outra norma de referência neste tema, a IEEE 352-2016 [42] “*General Principles of Reliability Analysis of Nuclear Power Generating Station Systems and Other Nuclear Facilities*”.

1. Definição e descrição do sistema ou equipamento em análise;
2. Diagrama funcional para que sejam conhecidos as interdependências do sistema ou equipamento em análise;
3. Descrição das funções dos vários componentes;
4. Modos e causas de falha de cada componente;
5. Efeitos e caracterização das consequências de falha;
6. Avaliação dos modos de falha e selecção de medidas de prevenção.

O processo será descrito e exemplificado utilizando uma tabela onde será apresentada de forma simples a análise FMEA [42] mas que explica de forma clara a sua utilização.

Tabela 20 – Exemplo da utilização de uma tabela para a análise FMEA.

Identificação do componente (1)	Função (2)	Modo de falha (3)	Mecanismos de Falha (4)	Efeitos no Sistema (5)	Método de Detecção – Medidas de Prevenção (6)	Notas (7)

1. Definição do sistema em análise

O sistema em análise é definido nesta etapa e é onde é feita a listagem dos componentes que constituem o que é o sistema. À luz do que é dito anteriormente, ao nível das subfunções pode-se ter uma série de componentes que são constituídos por outros elementos mais pequenos. Nesta fase deve racionalizar-se a análise e ter a sensibilidade de apenas procurar componentes que ao falharem poderão comprometer a função.

2. Diagrama funcional

Uma boa definição de uma estrutura funcional e hierarquização das subfunções é essencial para aplicação da definição dos modos de falha dos componentes e respectivos efeitos. A criação de fluxogramas poderão ajudar a perceber melhor a visualização dos problemas associados às falhas como por exemplo a utilização de análise de árvores de falhas, FTA (*Fault Tree Analysis*).

3. Funções dos componentes

Deverá procurar-se uma definição de funções objectiva e que exprima a sua função. Esta descrição é muito importante que seja feita desta forma porque servirá de referência ao modo de falha. Principalmente utilizando uma abordagem funcional, por exemplo tubagem A – função contenção, válvula (PSV) B – alívio de pressão.

4. Descrição dos modos e mecanismos de falha

Avaliar os componentes identificados e para cada um destes identificar os vários modos de falha. Identificar de que forma este pode deixar de efectuar a função para o qual foi projectado. Devem ser considerados todos os modos de falha tecnicamente possíveis. Os modos de falha terão breves descrições como quebra de..., fuga..., fractura de....

Este é um passo fundamental para compreender as causas potenciais que levam a um determinado modo de falha, fadiga, temperatura, excesso de vibração, corrosão, desequilíbrio, falta de fonte de energia, lubrificação, arrefecimento, etc... É deste ponto que poderão ser fundamentadas e introduzidas formas de identificar as falhas num estado prematuro para monitorizar a fiabilidade do componente. Compreendendo-se de que forma os modos de falha se manifestam, permitirá criar medidas para avaliar a condição num estado prematuro da falha e preparar a acção correctiva de forma antecipada.

5. Efeitos no sistema

Conhecendo bem de que forma estão os sistemas dependentes do componente analisado, é possível avaliar qual o nível das consequências em caso de falha deste. A existência de um fluxograma que descreva a lógica funcional é uma importante ajuda neste ponto principalmente em equipamentos complexos. Ajuda a compreender a existência de redundâncias e como estas poderão ou não ajudar na fiabilidade deste sistema.

A utilização de tabelas conforme a exemplificada no ponto 2.3.5 poderá ser uma forte ferramenta para perceber estas interdependências e efeitos ao nível de segurança e operacionalidade. Muitos dos componentes poderão ter funções secundárias resultando em efeitos desprezíveis ou então outros com funções essenciais que poderão ter efeitos graves comprometendo a função requerida do sistema.

6. Método de detecção de falha e medidas de prevenção

Perceber até que ponto é possível implementar medidas que possam detectar de forma eficaz mecanismos de falha através de equipamentos que monitorizem a condição a partir da

monitorização de alguns parâmetros e têm introduzidos valores de alarme. ou então, por introdução de medidas inspecção sistemática que permitam verificar a condição, por exemplo níveis de corrosão, apertos ou perdas de contenção.

Nem sempre é possível introduzir de forma viável métodos de detecção, neste caso poderão ser recomendados testes de forma sistemática para que seja possível perceber como um componente ou sistema se comporta.

Algo que é importante reter durante a implementação de uma FMEA mas que também é transversal à FMECA, à medida que a experiência com os equipamentos e com estas metodologias vão amadurecendo, é a reavaliação das análises feitas principalmente nos equipamentos com funções de segurança. Na alteração destes mesmos equipamentos é importante reavaliar estas análises. Bem implementadas, são ferramentas que oferecem um óptimo apoio para decidir medidas de Manutenção, essencialmente num contexto onde se procura melhoria ao nível da disponibilidade, segurança e custo.

Alguns resultados expectáveis após uma análise FMEA:

- Caracterização de sistemas onde a falta de experiência não permita definir qual a acção de Manutenção mais correcta;
- Identificação dos componentes que podem comprometer de forma real as subfunções mais críticas, ou seja, cujo seu efeito signifique perda de função do subsistema em análise;
- Identificação as características destes componentes e define medidas de salvaguarda com introdução de formas de inspecção, ou na impossibilidade destas, promover testes frequentes;
- Poderá ser um suporte para gestão da acção da Manutenção correctiva, ajudando a perceber necessidades de sobresselentes e planear reparações nas avarias que sejam detectáveis em fases prematuras.

4.3.5. Gestão da Acção Correctiva

Para a gestão da acção correctiva a Z-008 [4] não remete para nenhum conceito ou metodologia em específico. Apenas sublinha a importância da informação proveniente das análises de risco, mais concretamente sobre a criticidade dos equipamentos, que poderá dar um importante contributo nesta área.

Outra informação para além da criticidade dos equipamentos poderá ser utilizada como critério na priorização da gestão das OT's correctivas de forma sistemática. A utilização de um CMMS permitirá a introdução de critérios que facilitam o processo de gestão se forem identificados por

exemplo os equipamentos mais críticos, que cruzado com outros parâmetros, é possível sistematizar a gestão da acção correctiva.

As acções de reparação poderão ser geridas de acordo com o risco envolvido na falha de um equipamento. Ou seja, para onde o risco seja muito alto o tempo de reparação deverá ser mínimo, para níveis de risco mais baixo o tempo de reparação poderá ser prolongado.

A Figura 31 esquematiza um exemplo para a gestão das OT's com base na criticidade incluindo este critério também nas actividades correctivas ou outras não sistemáticas.

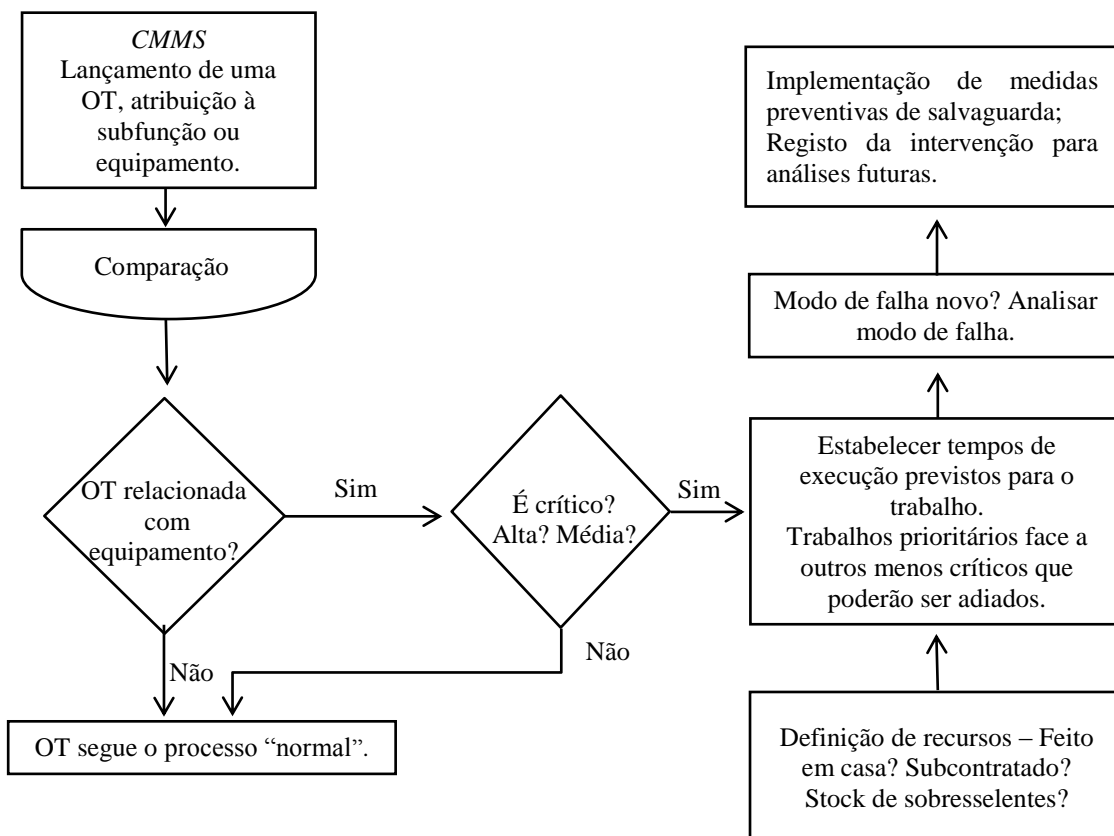


Figura 31 – Processo RBM para a gestão de OT's correctivas, (adaptado de [35]).

Após avaliação de risco, a resposta será sempre em forma de tempo, menos ou mais tempo para reparar. Para estas tomadas de decisão deverá ter-se em consideração [7]:

- Para dispositivos de segurança de um determinado equipamento, a prioridade deverá ser sobrevalorizada em relação a falhas nas funções de nível mais operacional. Nestes equipamentos em particular deverá considerar-se sempre a implementação de medidas que previnam ao máximo a ocorrência de avarias;

- Para casos que se consiga detectar o início de degradação e que seja uma questão de tempo até à avaria com perda de operacionalidade, deverá tentar garantir-se que o tempo de reparação (TTR) seja inferior ao tempo até à falha (TTF);
- A título de exemplo, na tabela 21, abaixo representada, é possível ter-se vários critérios para os tempos de reparação de acordo com o resultado entre consequência e probabilidade de falha. Quanto maior o risco associado ao equipamento menor o tempo expectável para a reparação;
- Considerar aspectos práticos da instalação, acessos, disponibilidade de sobresselentes, recursos disponíveis (humanos e técnicos) que influenciam a categorização do risco. A integração destes factores importantes na melhoria dos tempos de reparação, pretendidos especialmente para equipamentos críticos. Factores como a logística e recursos humanos ajudam a melhorar a sua utilização;
- Capacidade de informação e adaptação da operação em função do modo de falha, a operação poderá que ser adaptada de acordo com informação prestada pela Manutenção se o nível de criticidade assim o exigir. Se houver alteração de níveis de criticidade, avaliar a capacidade de resposta para a normalização das operações.

Tabela 21 – Exemplo de Matriz utilizada para classificação dos tempos de reparação previstos, (adaptado de [7]).

Frequência/Ano	MTTF-Anos (tempo médio entre falhas)	Criticidade Atribuída ao Equipamento/Sistema e tempo reparação previsto – Ano, Mês, Semana		
>1	0-1	B-1M	M-2S	A-1/2S.
1-0,3	1-3	B-3M	M-1M	A-1S.
0,3-0,1	3-10	B- 6M	M-3M	A-1M
<0,1	> 10	B-12M	M-6M	A-1M

O que a Z-008 [4] foca neste ponto para a avaliação sistemática de cada OT correctiva que surja, é a incorporação da análise de risco, mais concretamente a criticidade dos equipamentos, criando-se critérios para o planeamento e gestão de recursos, sejam estes materiais, humanos ou técnicos.

5. CONCLUSÕES

Uma das grandes dificuldades durante a execução deste trabalho foi garantir um fio condutor entre os vários assuntos abordados. Conforme referido ao longo do trabalho, o tema da melhoria da Manutenção é um tema de largo espectro e a sua interpretação pode ter vários campos de aplicação. Neste trabalho, não houve a preocupação de desenvolver um modelo de melhoria da Manutenção para um tema em específico mas sim lançar os temas chaves e consensuais na indústria, petrolífera essencialmente, e neste caso concreto, aplicada a terminais de armazenagem de produtos petrolíferos que servirão de orientação para a gestão.

É possível concluir que, no meio amplo deste tema, a melhoria da Manutenção deste tipo de instalações passará inevitavelmente por três grandes temas, orientação estratégica, integração e um modelo de Manutenção baseado no risco.

Orientação e Estratégica

- A Manutenção e a sua gestão em primeiro lugar terão que ter a sua estratégia e objectivos perfeitamente sintonizados e definidos de acordo com as pretensões corporativas;
- Perceber exactamente quais as muitas imposições legais do sector e o peso destas e dos sistemas de gestão em vigor, saúde, segurança e ambiente, que são tipicamente as principais preocupações nesta indústria e que definem em muito a forma como se opera este tipo de instalações. Estas preocupações deverão estar reflectidas na estratégia da Manutenção;
- Definição de recursos humanos, técnicos e financeiros para as actividades exigidas à Manutenção. Conhecer o que existe e perceber se estão bem dimensionados para o nível pretendido. Perceber o nível e importância das actividades de Manutenção previstas servindo de factor decisivo para decidir a subcontratação.

Integração

- A multidisciplinariedade exigida para a gestão da Manutenção dos equipamentos e os vastos *inputs* inerentes às imposições legais e sistemas de gestão obrigam à criação de uma estrutura que suporte a informação gerada e que permitam uma visão holística sobre a Manutenção. A integração desta informação é a única forma da Manutenção ter condições para monitorizar e rastrear a sua acção de forma evidente, com recolha de dados e criação de históricos cruciais para fundamentar decisões e acções de melhoria.

- Para um bom nível de integração é recomendada uma plataforma dedicada, um CMMS, que poderá estar ou não integrado num outro sistema. O dimensionamento deste, as funções e nível de utilização estará muito dependente do nível de maturidade e cultura da Manutenção. Para além do suporte na gestão da informação, é uma ferramenta essencial que permite a sistematização da acção preventiva e rastreio de acções para efeitos de histórico e posteriores análises. Permite também a definição clara dos vários fluxos que compõem a Manutenção, desde as actividades sistemáticas e não sistemáticas, processo de aquisição de bens e serviços, gestão de *stocks*, etc...;
- O conceito de Integração juntamente com a implementação de um CMMS é a base para que haja condições para a monitoração do desempenho, base da gestão, aplicado obviamente na Manutenção e que permite a criação de indicadores de desempenho. Estes poderão ser importantes decisores da acção da Manutenção;

Programa de Manutenção

- Recomenda-se um programa de Manutenção baseado no risco onde exista a criação de critérios que identificam e organizam os processos e equipamentos de acordo com a sua criticidade. O princípio de melhoria é simples, concentração de recursos nos mais críticos faz aumentar de uma forma geral a segurança porque é nestes onde há a maior concentração do risco à operação e dos produtos armazenados.
- Neste caso concreto a recomendação é a utilização de abordagens baseadas no risco qualitativas, empíricas e mais acessíveis. Regra geral as instalações de armazenagem não têm uma dimensão, recursos e complexidade de processos que justifique as abordagens quantitativas que exigem equipas dedicadas e análises complexas. A utilização de algumas normas referência neste sector, em particular a Z-008 [4], apoiaram de forma objectiva uma forma de estruturar um programa de Manutenção para a melhoria da sua acção. Esta define também uma forma simples do nível de definição das actividades de Manutenção preconizadas para vários equipamentos de acordo com a sua criticidade.
- Utilização de ferramentas na análise dos possíveis modos de falha como a FMEA acabam por ser essenciais para a identificação de componentes com maior peso na criticidade de processos ou equipamentos que sejam novos ou alterados. É uma ferramenta perfeitamente adaptável às instalações de armazenagem e ajuda a focar a Manutenção nos pontos em que as falhas possam comprometer a segurança de um determinado equipamento ou processo.

Como trabalhos futuros seria interessante associar os vários pontos abordados neste trabalho à ISO 55001 [43]. Esta define uma série de boas práticas para o bom desempenho da gestão de activos que poderiam aproximar este conceito ao tema deste trabalho.

A interpretação da melhoria dependerá obviamente de indústria para indústria e não existe uma fórmula matemática, regra ou norma que assegure o sucesso. Cabe ao responsável ou gestor de Manutenção compreender o que lhe é exigido e o que melhor se adapta, com a melhor relação custo-benefício.

REFERÊNCIAS

- [1] International Organization for Standardization, ISO 14001 - Sistema de Gestão Ambiental, 2015.
- [2] British Standards Institution, OHSAS 18001 - Occupational Health and Safety Management Standard (Norma para a Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional), 2015.
- [3] Ministério do Ambiente Português, Ordenamento do Território e Energia, Decreto de Lei n.º 151/2015 - Regime de prevenção de acidentes graves que envolvem substâncias perigosas e de limitação das suas consequências para a saúde humana e para o ambiente., 2015.
- [4] Norwegian Technology Center, NORSOK Z-008 Criticality analysis for maintenance purposes, 2001.
- [5] S. K. Pinjala e L. Pintelon, "Evaluating the effectiveness of maintenance strategies", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, pp. Vol. 12 Iss: 1, pp.7 - 20, 2004.
- [6] C. Varela Pinto, Organização e Gestão da Manutenção, Monitor, 2002.
- [7] S. Panesar e T. Markeset, "Maintenance Optimization Process in the Norwegian Petroleum Industry - Key Issues, Challenges and Opportunities.", Lulea, Sweden, 2006.
- [8] J. Puig, "Asset Optimization and Predictive Maintenance in Discrete Manufacturing Industry," 2011.
- [9] PSA - Petroleum Safety Authority of Norway, "Human Technology Organization - HTO, Human Factors," www.ptil.no (acedido a 30-05-2017), 2016.
- [10] Parlamento Europeu e do Conselho, Directiva 2012/18/UE - Norma para controlo dos perigos associados a acidentes graves que envolvem substâncias perigosas., 2012.
- [11] Ministério da Segurança Social e do Trabalho Português, Decreto-Lei 236/2003 - Regras de protecção dos trabalhadores contra os riscos de exposição a atmosferas explosivas, 2003.
- [12] Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente Português, Decreto-Lei n.º 78/2004 - Estabelece o regime da prevenção e controlo das emissões de poluentes para a atmosfera, 2004.
- [13] Ministério do Ambiente Português, Decreto-Lei n.º 366-A/97 - Estabelece os princípios e as normas aplicáveis ao sistema de gestão de embalagens e resíduos de embalagens, 1997.
- [14] Ministério Português das Actividades Económicas, Decreto-Lei n.º 50/2005 - Prescrições mínimas de segurança e saúde dos trabalhadores na utilização de equipamentos de trabalho., 2005.
- [15] Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento Português, Decreto-Lei n.º 90/2010 - Regulamento de Instalação, de Funcionamento, de Reparação e de Alteração de Equipamentos sob Pressão, 2010.
- [16] Ministério da Economia Português, Portaria n.º 362/2000 - Procedimentos Relativos às Inspeções e à Manutenção das Redes e Ramais de Distribuição e Instalações de Gás, 2000.
- [17] Repsol, 03-00004GU -Guia para a Gestão de Sistemas de Segurança, Repsol, 2010.
- [18] Repsol, "SCOR G-02 - Guía para la Realización de Estudios HAZOP(Hazard and Operability Analysis)", Repsol, 2007.
- [19] T. O'Hanlon, Computerized Maintenance Management and Enterprise Asset Management Best Practices, Reliabilityweb.com, 2005.
- [20] S. Thomas e O. Terrence, "CMMS Best Practices Study," Asset Management White Paper Series, 2011.
- [21] J. Campbell e J. Reyes-Picknell, Uptime Strategies for Excellence in Maintenance Management, CRC Press, 2016.
- [22] J. M. Simões, C. F. Gomes e M. M. Yasin, "A literature review of maintenance performance measurement: A conceptual framework and directions for future," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, pp. Vol. 17 Iss: 2, pp.116 -137, 2011.
- [23] Parida e A. Kumar, "Maintenance Performance Management (MPM): Issues & Challenges.", pp. 239-251, 2006.
- [24] Instituto Português da Qualidade, Norma portuguesa NP EN 15341 : Manutenção - Indicadores de desempenho da manutenção (KPI), 2007.
- [25] P. e. a. Muchiri, "Development of Maintenance Function Performance Measurement," *International Journal of Production Economics*, April 2010.
- [26] W. Torell e V. Avelar, "Tempo Médio Entre Avarias (MTBF – Mean Time Between Failures): Explicações e Normalizações," 2004.
- [27] R. Mobley, L. Higgins e D. Wikoff, Maintenance Engineering HandBook, McGraw-Hill, 2008.

- [28] P. A. Bragatto, P. Pittiglio e S. Ansaldi, “The management of mechanical integrity inspections at small-sized “Seveso” facilities,” Italian National Institute for Occupational Safety and Prevention, 2008.
- [29] Parlamento Europeu e do Conselho, Directiva Europeia 97/23/CE -Norma para a harmonização de projecto, construção, instalação e provas e avaliação de conformidade de equipamentos sob pressão, 1997.
- [30] Parlamento Europeu e do Conselho, Directiva 2014/68/UE - Norma para a harmonização da legislação dos Estados-Membros respeitante à disponibilização de equipamentos sob pressão no mercado, 2014.
- [31] Ministério da Indústria e Energia Português, Decreto-lei 246/92 - Regulamento para Construção e Exploração de Postos de Abastecimento de Combustíveis, 1992.
- [32] Ministério da Economia - Instituto Português de Combustíveis, Decreto 36270 - Regulamento de segurança das instalações de armazenagem e tratamento industrial de petróleos brutos, seus derivados e resíduos, 1947.
- [33] A. Jovanovic, “Risk Based Inspection and Maintenance in Power & Process Plants in Europe,” 2004.
- [34] J. J. C. Brigas, Tese de Mestrado - “RBIM – Inspeção e Manutenção Baseada no Risco”, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2008.
- [35] M. Bertolini, M. Bevilacqua, F. Ciarapica e G. Giacchetta, “Development of Risk Based Inspection and Maintenance Procedure for an Oil Refinery,” vol. 22, pp. 244-253, Janeiro 2009.
- [36] N. Arunraj e J. Maiti, “Risk Based Maintenance Techniques and Applications,” vol. 142, pp. 653-661, 2008.
- [37] Det Norske Veritas, “DNV-RP-G101 - Risk Based Inspection of Offshore Topsides Static Mechanical Equipment,” 2010.
- [38] International Organization for Standardization, ISO 14224:2016 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, 2016.
- [39] International Electrotechnical Commission, IEC 60300-3-11 - Dependability management - Part 3-11: Application guide - Reliability centred maintenance, 2009.
- [40] J. Moubray, Reliability Centred Maintenance (RCM 2), 1997.
- [41] American Army Standard, MIL-STD-1629A Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, 1980.
- [42] Institute of Electrical and Electronics Engineers, 352-2016 - General Principles of Reliability Analysis of Nuclear Power Generating Station Systems and Other Nuclear Facilities, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016.
- [43] International Standard Organization, ISO 55001 - Requisitos para a implementação de um sistema de gestão de activos, 2014.