



**ISEL**  
INSTITUTO SUPERIOR DE  
ENGENHARIA DE LISBOA

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**



## **METODOLOGIA FMEA APLICADA A PRENSA DE MOLDAGEM DE SUPERFÍCIES DE VOO**

### **UTILIZAÇÃO DE MÉTODO AHP NA TOMADA DE DECISÃO**

**IRIS MARGARIDA REIS DOS SANTOS MONTEIRO DE SOUSA**  
(Licenciada em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado em Engenharia Mecânica

Orientador(es):

Doutor José Augusto da Silva Sobral  
Doutora Ana Sofia Martins da Eira Dias

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado  
Vogais: Doutor José Fernando Gomes Requeijo  
Doutora Ana Sofia Martins da Eira Dias

**Dezembro de 2016**



**ISEL**  
INSTITUTO SUPERIOR DE  
ENGENHARIA DE LISBOA

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**

# **METODOLOGIA FMEA APLICADA A PRENSA DE MOLDAGEM DE SUPERFÍCIES DE VOO**

## **UTILIZAÇÃO DE MÉTODO AHP NA TOMADA DE DECISÃO**

**IRIS MARGARIDA REIS DOS SANTOS MONTEIRO DE SOUSA**  
(Licenciada em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado em Engenharia Mecânica

Orientador(es):

Doutor José Augusto da Silva Sobral  
Doutora Ana Sofia Martins da Eira Dias

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado  
Vogais: Doutor José Fernando Gomes Requeijo  
Doutora Ana Sofia Martins da Eira Dias

**Dezembro de 2016**

## RESUMO

Numa sociedade onde uma grande variedade de factores influencia o desempenho das Organizações, busca-se constantemente uma maior competitividade, eficácia e crescimento. Devido aos novos desafios da globalização e da necessidade constante de desenvolvimento tecnológico, as Organizações são obrigadas a desenvolver novos modelos de negócio, que permitam ter um desempenho crescente. Especialmente no ramo industrial, a manutenção tem vindo a ter um peso crescente no desempenho de uma indústria; a pressão constante para tempos entrega, fluxos de produção, padrões de qualidade e evolução tecnológica, leva as empresas a apostar na Manutenção Industrial.

Todos os equipamentos estão sujeitos a uma deterioração progressiva, especialmente quando têm um funcionamento intensivo, sendo necessário manter o seu bom estado de integridade e de funcionamento. É nesta etapa que a manutenção assume um papel principal, tendo sempre como objectivo o aumento da disponibilidade dos equipamentos. Para um gestor de manutenção, o equipamento ideal terá que ter uma fiabilidade excelente, sem paragens imprevistas, com uma manutenção fácil e preferencialmente barata. Muito dificilmente estes cenários se verificam em simultâneo, a manutenção é obrigada a implementar várias ferramentas e modelos de forma a responder positivamente aos requisitos da produção.

O presente trabalho tem como objectivo identificar, explorar e implementar dois modelos distintos que, interligados, permitem uma visão abrangente do nível de risco associado ao funcionamento de um equipamento, e qual a sua necessidade de investimento para a respectiva mitigação ou controlo desse risco. Como caso de estudo, foi estudada uma prensa hidráulica de painéis aeronáuticos, considerada crítica para o fluxo de produção da Organização, tendo sido avaliados os vários modos de falha e efeitos através da metodologia FMEA, bem como a identificação de acções preventivas para a redução do risco. De forma a facilitar o trabalho do gestor de manutenção, foi implementada a segunda etapa do presente trabalho, tendo sido explorada a metodologia AHP para a priorização das várias medidas preventivas com necessidade de investimento.

Pretende-se com este trabalho explorar e implementar um processo replicável que permita facilitar o papel do gestor de manutenção, aquando da necessidade de tomada de decisão, no desenvolvimento de planos de investimento para a aquisição de *stocks* estratégicos de máquinas consideradas críticas para a Organização.

**PALAVRAS-CHAVE:** FMEA, AHP, manutenção, *stock* estratégico, decisão de investimento.

## ABSTRACT

In a society where a huge variety of factors influences corporations performance there is a constant seeking for higher competitiveness, efficiency and growing levels. Due to new globalization challenges and the constant need for technology development, companies are forced to develop new business models that allow them to have a rising performance. Maintenance plays an importante role concerning the desired industrial performance, regarding the constant pressure to delivery times, production flow, quality standards and technological innovation, leading organizations to bet in Industrial Maintenance.

All equipment are subjected to a progressive deterioration, especially when they have one intense operation, being necessary to maintain its integrity. In this context, the maintenance leads on to centre stage, having always the major propose to increase equipments availability. To the maintenance manager, the perfect equipment has an excellent reliability, without unexpected stops, with an easy maintenance and preferably cheap. As it almost never happens simultaneously, the maintenance managers, engineers and technicians are forced to implement several tools and models to answer positively to the production requests.

The objective of this work is to identify, explore and implement two distinctive models that once linked together allow having a full vision of the risks related to an equipment operation and to know what the best investment needed to achieve the risk mitigation or its control. The models were implemented on the study of a hydraulic press for aeronautical panels that is considered critical to the production flow. The several failure modes and effect were studied through the FMEA method, and the suggestion of preventive actions was made to reduce the risk. To simplify the maintenance manager work, it was implemented the second step of this work with the AHP method to the prioritization of preventive maintenance with investment needs.

The aims of this project are to explore and implement one replicable process that allows facilitating the maintenance manager work when he has to make on decision and to develop investment plans to buy strategic stocks of critical equipment to the company.

**KEY WORDS:** FMEA, AHP, maintenance, strategic stock, decision making

*The problems we face today cannot be solved at the same level of thinking we were at when we created them*

*(Albert Einstein)*

Nota:

O presente documento encontra-se redigido conforme as regras anteriores ao acordo ortográfico da língua portuguesa de 1990.

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, irmão, Rui e ao meu mentor e grande amigo Teodoro*

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	1
1.1	ENQUADRAMENTO	1
1.2	OBJECTIVOS	2
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	3
<b>2</b>	<b>CONTEXTO TEÓRICO</b>	5
2.1	METODOLOGIA <i>BOW-TIE</i>	5
2.1.1	A história do modelo	6
2.1.2	Vantagens da metodologia <i>Bow-Tie</i>	7
2.1.3	Diagrama de <i>Bow-Tie</i>	7
2.2	METODOLOGIA FMEA	9
2.2.1	Implementação da metodologia FMEA	10
2.2.2	Desenho do Mapa de FMEA	13
2.2.3	Tipos de FMEA	16
2.3	METODOLOGIA AHP PARA TOMADA DE DECISÃO	19
2.3.1	O princípio da metodologia AHP	20
2.3.2	Aplicações da metodologia AHP	25
2.3.3	Falhas, Modificações e Extensões da metodologia AHP	26
2.4	INDICADORES DE MANUTENÇÃO	27
<b>3</b>	<b>ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO</b>	30
3.1	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	30
3.2	TIPOLOGIA DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	31
3.3	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	32
3.3.1	Descrição do processo de prensagem	34
3.4	DESCRIÇÃO DA MÁQUINA	35
3.4.1	Principal sistema de funcionamento	36
3.4.2	Esquema de funcionamento	37
3.4.3	Tipo de Manutenção	44
3.5	INDICADORES DE MANUTENÇÃO	47
3.5.1	Tempo de indisponibilidade	47
3.5.2	Taxa de disponibilidade	48
3.5.3	MTTR – Mean Time To Repair	49
3.5.4	MTBF – Mean Time Between Failures	50

<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO CASO DE ESTUDO</b>	52
4.1	DESENHO <i>BOW-TIE</i>	52
4.2	IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA	54
4.2.1	Apresentação de resultados da avaliação FMEA	58
4.2.2	Análise de Resultados	66
4.2.3	Acções recomendadas para mitigação do risco	67
4.3	IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA AHP NA TOMADA DE DECISÃO	74
4.3.1	Construção da hierarquia	77
4.3.2	Definição de critérios	77
4.3.3	Definição de prioridades dos critérios de avaliação	78
4.3.4	Definição de prioridades das alternativas segundo os critérios de avaliação	81
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS</b>	86
5.1	CONCLUSÃO	86
5.2	TRABALHOS FUTUROS	87
	<b>REFERÊNCIAS</b>	88
	<b>ANEXOS</b>	91
	<b>Anexo I</b>	92

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Framework da metodologia implementada.....	4
Figura 2-1 Diagrama <i>Bow-Tie</i> fonte: <i>CGE – Risk Management Solutions [Consult. 11/2014]</i> .....	7
Figura 2-2 Layout adaptado do modelo do manual de referência <i>Ford Motor (1988)</i> ..	13
Figura 2-3 Tipos de modelos FMEA, adaptado <i>Stamatis (2003)</i> .....	16
Figura 2-4 Esquema resumo de implementação da metodologia AHP, <i>adaptado de Vilas Boas (2006)</i> .....	19
Figura 2-5 Construção da hierarquia para comparações par-a-par, <i>adaptado Saaty (1991)</i> .....	21
Figura 2-6 Temas de implementação da metodologia AHP, <i>adaptado de Vaidya and Kumar (2006)</i> .....	25
Figura 2-7 Áreas abrangidas pela metodologia AHP, <i>adaptado de Vaidya and Kumar (2006)</i> .....	26
Figura 3-1 Imagem aérea das instalações industriais da OGMA - Indústria Aeronáutica de Portugal S.A. fonte: <i>OGMA – Indústria Aeronáutica de Portugal [Consult. 2015]</i> . 30	
Figura 3-2 Organização da manutenção industrial .....	31
Figura 3-3 Áreas de produção do Negócio de Aeroestruturas.....	33
Figura 3-4 Processo de fabricação e montagem de painel aeronáutico.....	34
Figura 3-5 Esquema de moldes para prensagem de painéis fonte: <i>Manual de Operação ASEA Fluid Cell Press QCF 280-100 (1983)</i> .....	35
Figura 3-6 Esquema de modelo após prensagem fonte: <i>Manual de Operação ASEA Fluid Cell Press QCF 280-100 (1983)</i> .....	35
Figura 3-7 Prensa hidráulica ASEA .....	35
Figura 3-8 Esquema de constituição de componentes mecânicos da prensa ASEA fonte: <i>Manual de Manutenção ASEA Fluid Cell Press QCF 280-100 (1983)</i> .....	37
Figura 3-9 Esquema de circuitos necessários ao funcionamento da prensa .....	38
Figura 3-10 Desenho de construção do sistema hidráulico da prensa fonte: <i>Manual de Manutenção ASEA Fluid Cell Press QCF 280-100 (1983)</i> .....	38
Figura 3-11 Componentes constituintes do sistema hidráulico .....	39
Figura 3-12 Componentes constituintes do sistema de eléctrico/controlo da prensa hidráulica .....	40
Figura 3-13 Ilustração da zona de prensagem da prensa fonte: <i>Manual de Manutenção ASEA Fluid Cell Press QCF 280-100 (1983)</i> .....	41
Figura 3-14 Componentes constituintes da zona de prensagem.....	41
Figura 3-15 Ilustração do sistema de transporte do carro de prensagem fonte: <i>Manual de Manutenção ASEA Fluid Cell Press QCF 280-100 (1983)</i> .....	42
Figura 3-16 Componentes constituintes do sistema de transporte .....	42
Figura 3-17 Ilustração do carro de prensagem fonte: <i>Manual de Manutenção ASEA Fluid Cell Press QCF 280-100 (1983)</i> .....	43
Figura 3-18 Componentes constituintes do carro de prensagem.....	43
Figura 3-19 Tipos de sinalização visual da ferramenta TPM.....	45
Figura 3-20 Descrição da simbologia visual .....	45

Figura 3-21 Exemplo de sinalização visual na prensa hidráulica.....	46
Figura 3-22 Quadro de standard de manutenção TPM.....	46
Figura 3-23 Paragens do equipamento devido a inoperatividade.....	48
Figura 3-24 Evolução da disponibilidade operacional entre 2010 e 2015 .....	49
Figura 3-25 Evolução dos indicadores MTTR e MTBF entre 2010 e 2015.....	51
Figura 4-1 Diagrama <i>Bow-Tie</i> de motor da prensa hidráulica.....	53
Figura 4-2 Diagrama <i>Bow-Tie</i> de bomba da prensa hidráulica .....	53
Figura 4-3 Níveis de análise FMEA .....	54
Figura 4-4 Número de identificações por grau de risco .....	66
Figura 4-5 Distribuição de níveis de RPN.....	67
Figura 4-6 Medidas de recomendação para mitigação do RPN .....	73
Figura 4-7 Distribuição de medidas recomendadas para a mitigação do RPN .....	74
Figura 4-8 Esquema de hierarquia para a tomada de decisão na aquisição de <i>spares</i> estratégicos para a prensa hidráulica .....	77

## INDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 Metodologia FMEA: Critérios de probabilidade.....	11
Tabela 2-2 – Metodologia FMEA: Critérios de consequência .....	11
Tabela 2-3 - Metodologia FMEA: Critérios de detecção .....	12
Tabela 2-4 - Escala de classificação para comparações par-a-par, adaptado da escala de preferências de Saaty (1991) .....	22
Tabela 2-5 - Escala de Índices aleatórios, <i>adaptado de Saaty (1987)</i> .....	24
Tabela 2-6 - Escalas que derivarão do modelo de Saaty, <i>adaptado de Ishizaka (2009)</i> .....	27
Tabela 2-7 - Indicadores de Manutenção <i>fonte: EN 15341:2007</i> .....	28
Tabela 3-1 - Principais características da prensa hidráulica.....	36
Tabela 3-2 Resumo de etapas para a realização de ciclo completo de prensagem.....	37
Tabela 3-3 - Paragens do equipamento devido a inoperatividade .....	47
Tabela 3-4 - Níveis de disponibilidade operacional do equipamento .....	49
Tabela 3-5 – Resumo dos valores de MTTR entre 2010 e 2015 .....	50
Tabela 3-6 – Resumo de valores de MTBF entre 2010 e 2015 .....	51
Tabela 4-1 - Níveis de ocorrência adotados para a análise FMEA .....	55
Tabela 4-2 - Níveis de consequência adotados para a análise FMEA.....	56
Tabela 4-3 - Níveis de detecção adotados para a análise FMEA .....	56
Tabela 4-4 - Níveis de RPN adotados para a análise FMEA.....	57
Tabela 4-5 - Medidas com necessidade de investimento avaliadas pela metodologia AHP .....	75
Tabela 4-6 - Matriz de decisão para medidas preventivas identificadas com necessidade de investimento e RPN igual ou superior a 320 .....	76
Tabela 4-7 - Matriz de decisão exemplificativa do modo de avaliação nos níveis de RPN .....	76
Tabela 4-8 - Comparação par-a-par para definição de prioridades de critérios .....	79
Tabela 4-9 - Matriz auxiliar para o cálculo da definição de prioridades de critérios .....	79
Tabela 4-10 - Matriz normalizada para a definição de prioridades de critérios .....	79
Tabela 4-11 - Vector prioridades.....	79
Tabela 4-12 - Matriz auxiliar para análise de consistência de critérios.....	80
Tabela 4-13 - Comparação par-a-par para definição de prioridades de alternativas segundo o critério Custo de Aquisição (CA).....	82
Tabela 4-14 - Matriz auxiliar para a definição de prioridades de alternativas segundo o critério Custo de Aquisição (CA) .....	82
Tabela 4-15 - Matriz normalizada para a definição de prioridades de alternativas segundo o critério Custo de Aquisição (CA).....	82
Tabela 4-16 - Vector prioridades segundo o critério Custo de Aquisição (CA) .....	83
Tabela 4-17 - Matriz auxiliar para a análise de consistência – Custo de Aquisição (CA) .....	83
Tabela 4-18 - Tabela resumo dos vectores prioridades segundo os 4 critérios .....	84
Tabela 4-19 - Tabela resumo de razões de consistência.....	85
Tabela 4-20 - Vector prioridades das várias alternativas segundo os vários critérios..	85

## LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

DSS - *Decision Support Systems*

EASA - *European Aviation Safety Agency*

EMBRAER – Empresa Brasileira de Aeronáutica

ETA – *Event Tree Analysis*

FCH – Fabricação Chaparia

FCO – Fabricação Compósitos

FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*

FMECA - *Failure mode, effects and criticality analysis*

FMQ – Fabricação Máquinas

FMT – Fabricação Montagens

FTA – *Fault Tree Analysis*

FTS – Fabricação Tratamentos de Superfícies

HAZAN – *Hazard Analysis*

HAZOP – *Hazard And Operability Study*

IC – Índice de Consistência

KPI – *Key Performance Indicator*

MAFMA – *Multi-Attribute Failure Mode Analysis*

MCDM – *Multi Criteria Decision Method*

MTBF – *Mean Time Between Failures*

MTTR – *Mean Time To Repair*

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

OGMA – Oficinas Gerais de Material Aeronáutico

PTA – Pintura Aeroestruturas

RC – Razão de Consistência

RI – *Random index*

RPN – *Risk Priority Number*

*TOPSIS - Technique for Order Preference by Similar to Ideal Solution*

*TPM – Total Productive Maintenance*

# 1 INTRODUÇÃO

No contexto da economia mundial pode constatar-se que se vive uma época de profundas mudanças, em que na sociedade o paradigma industrial, deu lugar a outros modelos de desenvolvimento económico. Sendo o foco nas necessidades e aspirações dos consumidores, bem como a retenção de clientes com mais valor, os principais factores para o sucesso empresarial.

No actual cenário dos mercados, a luta pela sobrevivência das Organizações leva à exploração máxima dos recursos, sejam eles humanos ou tecnológicos. Neste contexto, as empresas de sucesso apresentam como base de sustentação, a diferenciação e aumento da relação qualidade/preço dos seus produtos e serviços, através da melhoria constante dos seus processos e orientação das suas estratégias segundo uma lógica de inovação.

O sector da aviação não se exclui desta realidade, com a evolução e globalização deste tipo de mercado, a competitividade entre fabricantes de aviação tem vindo a aumentar cada vez mais. Com a pressão constante do lançamento de novos modelos de aeronaves ou a redução do tempo de permanência das aeronaves em hangar, o objectivo principal é sempre a redução de custos, redução de tempos e aumento dos padrões de segurança e qualidade. No passado, devido à ausência de concorrência, a indústria da aviação era soberana e evoluía ao seu ritmo, mas, nos dias de hoje esta realidade é uma utopia, pois também as pressões dos mercados acabaram por chegar a este sector.

Com esta realidade, a valorização da fiabilidade dos equipamentos e o aumento da sua eficiência leva a uma exigência maior da Organização perante os serviços da manutenção. Uma vez que as avarias dão origem a interrupções do processo produtivo e consequentemente atrasos na entrega de aeronaves ou componentes, estes são factores decisivos que levam um fabricante ou transportadora aérea à subcontratação deste tipo de serviços.

## 1.1 ENQUADRAMENTO

As empresas estão hoje integradas num ambiente dinâmico e competitivo, resultado do aumento crescente da exigência de menores tempos de entrega, diminuição de preços, aumento da qualidade e inovação. Neste contexto, a melhoria contínua é uma busca constante por parte das empresas, com o objectivo das mesmas sobreviverem ou até mesmo liderarem na sua área de negócio no mercado onde estão inseridas.

A presente dissertação foi desenvolvida num equipamento de produção da empresa OGMA – Industria Aeronáutica de Portugal, empresa pioneira na reparação e produção de aeronaves em Portugal. Sendo esta uma empresa do sector aeronáutico, insere-se num grupo industrial extremamente exigente a todos os níveis. Estes níveis de exigência criam uma pressão na Organização para a busca constante da melhoria, levando a

elevados padrões de qualidade que são transversais a toda a empresa. Só desta forma seria possível melhorar tempos de entrega, processos de fabrico, modelos de gestão e de negócio, etc.

O uso de ferramentas avançadas na gestão da manutenção, é uma estratégia que contribui para o aumento dos padrões de qualidade da OGMA, proporcionando uma segurança na qualidade do produto e garantia dos prazos de entrega acordados com os clientes. Através do aumento da fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, os padrões de qualidade que dependem da performance da máquina, são garantidos e os custos de manutenção diminuem sucessivamente.

A metodologia FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) é uma ferramenta bastante eficaz que contribui para o aumento da fiabilidade dos equipamentos, através da avaliação das suas falhas funcionais. Através da análise dos modos de falha e implementação de medidas preventivas e correctivas, é possível diminuir a probabilidade de ocorrência dos modos de falha ou mitigar a severidade dos seus efeitos. A metodologia FMEA, funciona assim como uma ferramenta que assiste na definição das políticas e directrizes do sistema de gestão da manutenção.

Também a necessidade de investimento é uma problemática constante em todas as empresas. Frequentemente a existência de uma grande variedade de projectos com custo inerente, torna o papel dos gestores extremamente complicado. Por vezes é difícil conseguir hierarquizar e seleccionar quais as situações mais vantajosas ou mais urgentes de resolução, sendo necessário utilizar ferramentas que permitam auxiliar nesse raciocínio. Este paradigma que desafia constantemente as empresas obriga que o gestor procure e avalie as reais necessidades para a Organização.

Neste trabalho será explorado a metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*), que corresponde a uma importante ferramenta auxiliar para a ajuda na priorização de acções, medidas, aquisições, contratações, entre outros. Este método corresponde a um processo multicritério de análise de decisão através da avaliação da melhor opção, consoante as expectativas do gestor.

## **1.2 OBJECTIVOS**

Este trabalho tem como principal objectivo utilizar a metodologia FMEA para a análise dos modos de falha de uma prensa hidráulica de painéis aeronáuticos, e posteriormente definir e hierarquizar as várias ações recomendadas que necessitem de investimento. Esta hierarquização será efectuada através da metodologia AHP. Para a implementação deste trabalho seleccionou-se o equipamento que apresenta uma maior criticidade para o fluxo de produção de aeroestruturas e por se observar uma obsolescência de alguns dos seus componentes.

São vários os autores que interligam as duas metodologias (FMEA e AHP) aproveitando a sua simplicidade e eficácia para a identificação, estruturação e resolução de um problema. Como exemplo, pode-se referir o trabalho de Aslani *et al.* (2014) que

apresentam um modelo híbrido de sistemas *fuzzy* FMEA-AHP para a determinação dos factores que afectam as causas de falha, ou o trabalho desenvolvido por Leoni *et al.* (2015) onde se aborda a utilização da metodologia FMEA para a avaliação de risco de fornecedores através da análise de multi-critérios. Ou o estudo realizado pelos autores Kamble and Quazi (2014) onde se procede à identificação dos modos de falha e a respectiva identificação de acções e ferramentas de melhoria, através da metodologia AHP numa indústria de fundição.

O presente trabalho funcionará como um processo piloto de estudo, avaliação e análise dos modos de falha, dos equipamentos considerados críticos no fluxo de produção. Caso o processo implementado seja considerado uma ferramenta vantajosa e viável para a identificação e construção de orçamentos ligados à manutenção de máquinas e equipamentos, poderá ser replicado nos restantes equipamentos da Organização.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O documento encontra-se estruturado em 5 capítulos, sendo que o primeiro apresenta ao leitor uma introdução e enquadramento da dissertação, bem como a apresentação das motivações e objectivos do caso de estudo realizado.

O segundo capítulo tem como objectivo resumir e enquadrar o leitor sobre o contexto histórico e teórico dos métodos implementados neste trabalho. São abordados os fundamentos teóricos dos métodos *Bow-Tie*, FMEA e AHP, em que é possível perceber a sequência de implementação dos mesmos, bem como os respectivos critérios e métodos de implementação. Assim, o segundo capítulo tem como objectivo explicar de forma simples e sucinta, a qualquer leitor, a metodologia e fundamento dos modelos implementados. No segundo capítulo também são abordados os vários indicadores de manutenção que representam o estado do equipamento em estudo. Uma vez que o trabalho tem como objectivo implementar 3 métodos anteriormente apresentados, para auxiliar os gestores de manutenção para o aumento da fiabilidade do equipamento, é certo que devem ser apresentados de forma sucinta os indicadores de manutenção utilizados pela Organização.

O terceiro capítulo tem como objectivo a apresentação e enquadramento do caso de estudo. Neste capítulo é apresentada a empresa, bem como o seu modelo de gestão da manutenção, onde se enquadra o equipamento estudado, sendo também apresentado o processo de fabricação e linha de produção em que a prensa hidráulica tem influencia. De seguida é referida a componente técnica da prensa hidráulica, bem como a identificação e representação de todos os seus sistemas, subsistemas e componentes. Finalmente são apresentados os vários indicadores de manutenção referentes ao equipamento.

O quarto capítulo dedica-se à aplicação e implementação das metodologias *Bow-Tie*, FMEA e AHP na prensa hidráulica. São apresentados os diagramas de *Bow-Tie*, tabelas de avaliação pela metodologia FMEA com respectiva tabela de medidas de

recomendação para mitigação do risco. Finalmente é apresentada a implementação da metodologia AHP para a avaliação e priorização das medidas sugeridas com necessidade de investimento das identificações da metodologia FMEA para valores de RPN (*Risk Priority Number*) superiores a 320.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões relativas aos resultados obtidos e as várias sugestões de trabalhos futuros como potencial forma de dar continuidade à presente dissertação.

O esquema representado na Figura 1-1 esquematiza as várias etapas de implementação das três metodologias já referidas, a sua interligação e objectivos de cada um. No âmbito da melhoria contínua dos processos, é considerado o controlo e reanálise do problema no caso de não se atingirem os objectivos iniciais, melhoria da fiabilidade do sistema e aumento da disponibilidade da máquina.

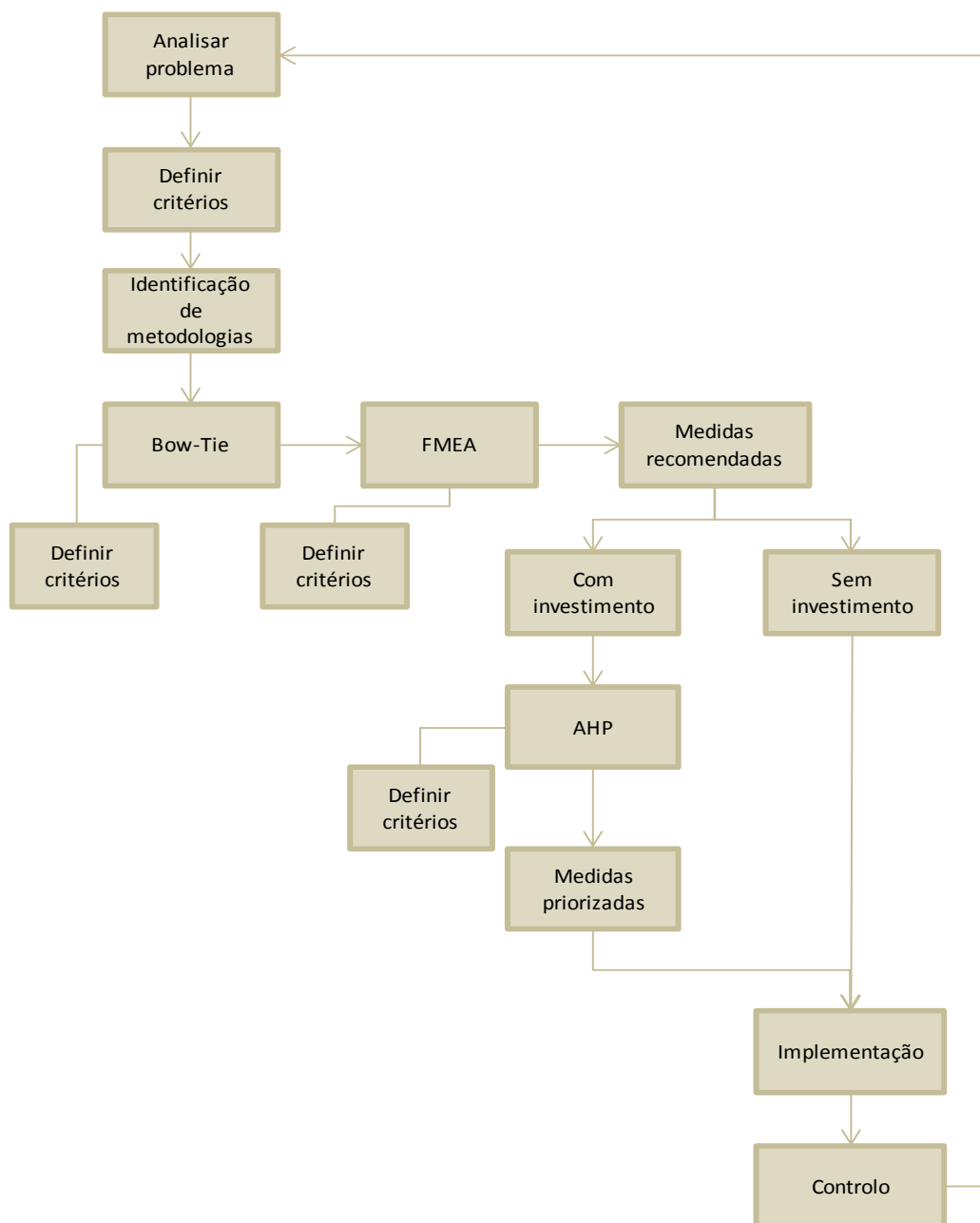


FIGURA 1-1 FRAMEWORK DA METODOLOGIA IMPLEMENTADA

## 2 CONTEXTO TEÓRICO

As metodologias utilizadas neste trabalho são amplamente conhecidos e implementados nas Organizações, devido à sua simplicidade e eficiência na detecção e prevenção da falha e na metodologia de tomada de decisão multi-critério. Existe uma vasta quantidade de publicações teóricas das metodologias utilizadas, bem como trabalhos comparativos dos vários modelos existentes e as suas vantagens e pontos fracos de implementação. Este capítulo tem como objectivo compilar e explanar a base teórica de cada modelo, de forma a permitir ao leitor compreender a metodologia de implementação posteriormente apresentada neste trabalho.

### 2.1 METODOLOGIA *BOW-TIE*

O modelo *Bow-Tie* é uma adaptação e combinação do modelo da *Fault Tree Analysis* (FTA) e o modelo da *Event Tree Analysis* (ETA), uma vez que consegue abranger num só diagrama, o esquema visual das causas das falhas e das suas consequências quando as medidas de controlo falham. O modelo *Bow-Tie* apareceu pela primeira vez na Universidade de Queensland, mais especificamente no curso de Hazard Analysis da Imperial Chemistry Industry, mas sobre a sua origem, os factos não são completamente claros (CGE – Risk Management Solutions [Consult. 11/2014]). Foi uma metodologia sobejamente utilizado na Industria Petrolífera para a análise de riscos, e hoje é utilizado nas mais variadíssimas áreas, sendo mesmo utilizado por Organizações Governamentais e Governos como por exemplo na Industria de Defesa do Reino Unido (Gifford *et al.*, 2003) pela European Aviation Safety Agency (EASA) (Purton *et al.*, 2013) ou pelo Governo Francês (Couronneau and Tripathi, 2003).

O modelo *Bow-Tie* tem vindo a ganhar peso como ferramenta para a comunicação de riscos, através de todos os níveis das Organizações (Chevreau *et al.*, 2006) (Lewis and Smith, 2010) (Gifford *et al.*, 2003).

A metodologia *Bow-Tie* é uma ferramenta que permite efectuar uma avaliação de risco, que pode ser utilizado para analisar e demonstrar de certa forma as relações causais. Esta metodologia permite em simultâneo, ter uma visão panorâmica e sumária dos vários cenários que podem existir à volta de uma ocorrência, e as respectivas medidas de controlo ou mitigação. A metodologia ganhou o seu nome devido à forma do diagrama que é gerado.

Uma vez implementadas as medidas, a metodologia *Bow-Tie* consegue ir mais além, permitindo também identificar as formas como as medidas de controlo podem falhar. Através da combinação das forças das várias medidas de controlo e a contribuição do empenho da organização e operadores, esta metodologia facilita o conhecimento dos riscos, bem como a sua gestão através do seu controlo e tolerância, até certos níveis que não irão lesar a Organização.

A metodologia *Bow-Tie* tem como objectivo a avaliação de riscos e a sua gestão, mas principalmente permitir a sua exposição, tornando fácil e prática a sua visibilidade. A metodologia é esquematizada para dar uma maior descrição dos riscos presentes, ajudar as pessoas a entender os riscos e as suas consequências, devido ser uma metodologia que se apresenta de uma forma gráfica. Esta metodologia pode ser utilizada para demonstrar como os requisitos do sistema de gestão de riscos estão em consonância com as respectivas medidas de controlo, conseguindo abranger as ameaças, os perigos, as consequências e a hierarquização. O histograma do *Bow-Tie* ilustra a relação que existe em torno do *Top Event* ou Evento principal, sendo demonstrado do lado esquerdo as causas e do lado direito as consequências.

Hoje em dia a metodologia *Bow-Tie* é um modelo amplamente utilizado por empresas das mais variadas actuações por ser uma metodologia expedita, simples e capaz de reunir e resumir todos os cenários possíveis que levam à ocorrência do Evento Principal bem como as suas consequências.

### **2.1.1 A história do modelo**

Conforme referido anteriormente, estima-se que a metodologia *Bow-Tie* teve origem em 1979 na *Imperial Chemistry Industry* nos apontamentos do curso de HAZAN (*Hazard Analysis*) na Universidade de *Queensland*, Austrália. Mas foi o acidente que ocorreu em 1988, com consequências catastróficas na plataforma de Piper Alpha, o catalisador para o entendimento da Análise de Risco na indústria petrolífera, o relatório de *Lord Cullen* sobre a origem do acidente concluía que, o conhecimento sobre os riscos e a sua gestão era apenas uma pequena parte de um sistema complexo inerente às várias operações da plataforma, havendo várias lacunas na gestão de risco. Este relatório levou a que houvesse a análise e estudo pormenorizado dos eventos e condições, que podem levar à falha e as respectivas respostas sistémicas e sistemáticas capazes de controlar o risco (CGE – Risk Management Solutions. [Consult. 11/2014]).

No início dos anos 90 do século XX, o Grupo *Royal Dutch/Shell* adoptou a metodologia *Bow-Tie* como modelo *standard* para a análise e gestão de risco, tendo levado ao aumento do *know-how* e controlo na implementação desta metodologia e na definição de regras e normas, baseadas nos seus ideais e boas práticas. A primeira motivação da *Shell* foi a necessidade de assegurar que em todas as suas operações, independentemente da sua localização, todas as medidas de controlo estavam devidamente implementadas e asseguradas. Depois da *Shell*, a metodologia ganhou destaque na indústria, uma vez que os diagramas eram facilmente entendidos por todas as camadas da Organização, levando a que os operadores tivessem um cuidado e empenho na implementação das boas práticas para a gestão do risco (CGE – Risk Management Solutions [Consult. 11/2014]).

Durante a última década, a metodologia *Bow-Tie* acabou por ser melhorado e agregado a outras ferramentas para a gestão de risco, tendo acabado por se expandir muito além da indústria petrolífera. Actualmente esta metodologia é utilizada por indústrias

extremamente exigentes como aeronáutica, aviação, mineira, marítima, química e médica (CGE – Risk Management Solutions [Consult. 11/2014]).

### **2.1.2 Vantagens da metodologia Bow-Tie**

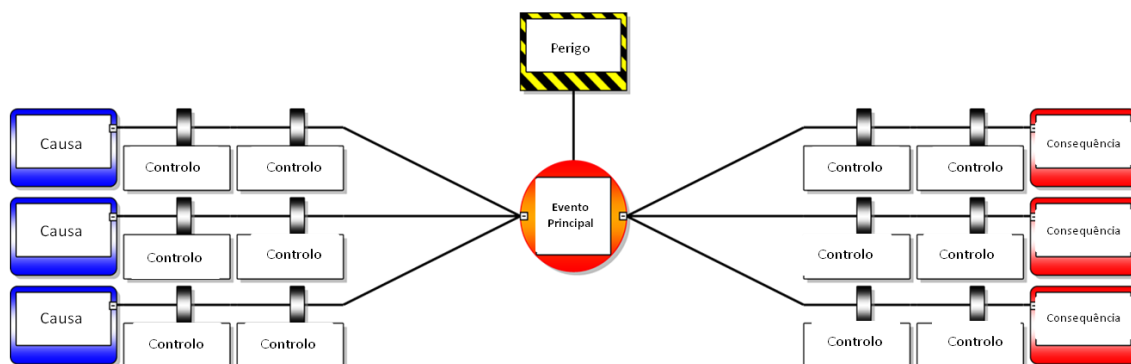
São várias as vantagens para as Organizações quando implementam a metodologia *Bow-Tie*. Abaixo encontram-se resumidas algumas dessas vantagens:

- Documenta a análise de riscos de forma sistemática, de forma que durante o controlo dos perigos resulte um entendimento fácil por todos os estratos da Organização;
- Permite documentar todas as áreas de forma a implementar acções correctivas com os respectivos responsáveis;
- Facilita a melhoria contínua do processo de gestão de riscos;
- Promove a visualização dos perigos, riscos e a sua gestão;
- Permite a gestão dos perigos considerados mais graves;
- Considera todos os aspectos da gestão de riscos, o foco da metodologia leva a uma avaliação de todas as causas iniciais, qual o nível de controlo das mesmas e a forma como a Organização está preparada para o acontecimento do evento principal;
- Ferramenta que permite uma monitorização no dia-a-dia.

### **2.1.3 Diagrama de Bow-Tie**

O diagrama de *Bow-Tie* permite visualizar o risco presente através de apenas uma imagem. O diagrama tem uma forma de laço, criando assim a diferença clara entre gestão de risco proactiva ou reactiva. Através da figura abaixo representada, é possível o entendimento visual do risco e quais os possíveis cenários que podem levar à sua ocorrência.

Através de formas e cores diferentes, é possível transmitir qual o evento principal e quais as consequências e causas.



**FIGURA 2-1 DIAGRAMA BOW-TIE** fonte: CGE – RISK MANAGEMENT SOLUTIONS [CONSULT. 11/2014]

### ***Perigo***

O diagrama de *Bow-Tie* começa pelo perigo, ou seja, a fonte principal do diagrama desta metodologia. Se esta entidade não existir, a metodologia não faz qualquer sentido, uma vez que não existe um acontecimento que depende de um conjunto de ameaças, e que terá um conjunto de consequências. Especificamente falando, o perigo é algo que faz parte da Organização que tem o potencial de causar o dano. Por exemplo, uma indústria química inevitavelmente trabalha com produtos explosivos, neste caso será uma das fontes de perigo. Este perigo poderá constituir qualquer parte do equipamento e que poderá ter um impacto negativo, caso não exista uma medida de controlo ou esta falhe.

### ***Evento principal***

O evento principal corresponde ao acontecimento que se pretende evitar e que depende de um conjunto de ameaças que, quando estão presentes, decorrerão as várias consequências afectas ao evento principal. Este evento principal resume num sentido macro como sendo o elemento principal do acontecimento.

### ***Causa***

As causas são todos os acontecimentos que podem levar à ocorrência do evento principal, assim, para o mesmo evento principal existirão múltiplas causas. Os autores da *CGE Risk* referem estas causas como ameaças ao sistema que levam ao acontecimento, podendo considerar-se a mesma base na metodologia *Bow-Tie*.

### ***Consequência***

A consequência é o resultado para o sistema da ocorrência do evento principal, são todos os efeitos resultantes da efectivação do cenário central que se pretendem evitar. Tal como as causas, também existirão múltiplas consequências para o mesmo evento principal.

### ***Medidas de Controlo***

As medidas de controlo aparecem em ambos os lados do diagrama de *Bow-Tie*, uma vez que, por um lado, existem barreiras que impedem as causas de ocorrerem, e por outro, também existem barreiras que reduzem o grau das consequências ou podem mesmo eliminar o seu efeito para o sistema. Existem diferentes tipos de medidas de controlo, sendo que todas se familiarizam em dois grandes grupos: do foro comportamental humano e do foro tecnológico/engenharia.

## 2.2 METODOLOGIA FMEA

A metodologia FMEA tem vindo a provar ser uma poderosa e prática ferramenta para a avaliação de modos de falha, sendo o principal objectivo da metodologia a identificação de potenciais falhas, avaliar as causas e efeitos de diferentes modos de falha, determinar as medidas que podem eliminar ou reduzir a ocorrência da falha. Os resultados da análise podem ajudar a identificar e corrigir os modos de falha que podem ter impacto directo no produto, processo ou serviço, de forma a aumentar a performance final.

É importante referir que o FMEA é um método qualitativo que contribui para o aumento da fiabilidade dos sistemas, disponibilidade de máquinas, segurança e qualidade dos produtos, processos ou meios de produção. Permite a tomada de decisão antes da ocorrência do problema, sendo a correcção precoce a sua principal vantagem.

A metodologia FMEA foi desenvolvida para garantir toda a informação para a gestão de risco (Pillay and Wang, 2003). Foi pela primeira vez desenvolvido pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) em 1963, como uma metodologia de desenho de avaliação de riscos para o projecto APOLLO. Posteriormente a metodologia foi explorada e implementado para indústria automóvel pela *Ford Motors* em 1977 (Chin *et al.*, 2008). Desde então, a metodologia FMEA tornou-se uma importante ferramenta, extensamente utilizada na área da prevenção de riscos e análise de fiabilidade de processos, produtos e sistemas numa grande variedade de indústrias, nomeadamente aeroespacial, aeronáutica, nuclear, automóvel, eletrónica, química e médica (Chang and Cheng, 2011) (Chin *et al.*, 2009) (Sharma *et al.*, 2005) (Yang *et al.*, 2011).

Outras vantagens deste método são a sua vasta aplicabilidade e a sua abrangência desde o produto ao processo, entre novas e antigas tecnologias, desde a fase da concepção à fase de exploração e comercialização de um produto. Através da metodologia FMEA existe ainda a possibilidade de adaptar e refinar o processo de um produto, de forma a aumentar a fiabilidade e disponibilidade do produto. Através da análise de riscos do modelo FMEA, é possível encontrar e corrigir falhas numa fase muito embrionária de lançamento do produto no mercado. Este método por si só não permite a resolução de problemas, mas sim a interligação de várias ferramentas já conhecidas na área de detecção e análise de falhas, como por exemplo os métodos *Bow-Tie*, *Fault Tree Analysis* ou HAZOP (*Hazard and Operability Study*). Em que esta última metodologia está directamente ligado aos desvios dos processos industriais, que terão consequência para a unidade industrial. Em contrapartida, a metodologia FMEA pode ser aplicada numa forma mais genérica, sempre com o fundamento da falha do produto, processo, serviço ou sistema. À semelhança de outras metodologias, também a metodologia FMEA foi adaptada por vários autores, como por exemplo, Franceschini and Galetto (2004) desenvolveram uma abordagem diferente para a avaliação do risco segundo o FMEA.

Esta metodologia permite-nos ainda ter uma visibilidade global dos processos, partindo de uma visão macro até à origem do problema (*top down*<sup>1</sup>), ou caso seja, mais vantajoso possibilita partir dos modos de falha de um produto até à consequência no sistema (*bottom up*<sup>2</sup>).

São vários os autores que apontam falhas à metodologia FMEA, desde a verdadeira importância do factor de ocorrência, severidade e detecção não ser tomada em consideração, o facto de diferentes combinações dos factores de ocorrência, severidade e detecção produzirem exactamente o mesmo valor de RPN, mas as implicações do risco serem totalmente diferentes (Braglia *et al.*, 2003) (Wang *et al.*, 2009).

### **2.2.1 Implementação da metodologia FMEA**

O primeiro passo para a implementação da metodologia é a identificação de todos os potenciais modos de falha, normalmente através de sessões de trabalho com equipas multidisciplinares. Depois desta identificação é necessária uma análise crítica dos vários modos de falha tendo em conta os factores de risco: Ocorrência (O), Severidade (S) e Detecção (D).

Após esta identificação, a metodologia FMEA permite identificar e priorizar os principais modos de falha, de forma a aplicar recursos limitados nos itens com risco mais elevado ou severo. De uma forma geral a priorização dos modos de falha para acções correctivas é determinada através do RPN, que é obtido através da multiplicação entre os factores Ocorrência, Severidade e Detecção (*Ford Motor*, 1988).

$$RPN = O \times S \times D$$

Em que O é a probabilidade de ocorrência da falha, S é severidade da falha e D é a probabilidade de não detecção da falha. Para a obtenção do RPN de um potencial modo de falha, os três factores são avaliados através duma escala pontuada de 1 até 10 descritas nas Tabela 2-1, Tabela 2-2 e Tabela 2-3. Quanto mais elevado for o valor de RPN de um modo de falha, maior é o risco para o produto ou processo. Através das classificações dos RPN, os modos de falha podem ser classificados e medidas de prevenção devem ser sugeridas.

Para a categorização do nível de Ocorrência (O) serão utilizadas as pontuações sugeridas pela *Ford Motor* (1988).

---

<sup>1</sup> Fragmentação de sistemas em subsistemas para a sua avaliação pormenorizada, abordagem de avaliação do problema de cima para baixo

<sup>2</sup> Análise de subsistemas para sistemas mais complexos, abordagem de avaliação do problema de baixo para cima

**TABELA 2-1 METODOLOGIA FMEA: CRITÉRIOS DE PROBABILIDADE**

Probabilidade de Ocorrência	Possibilidade de ocorrência (Nº ocorrências)	Pontuação
Extremamente alto, a falha é quase inevitável	≥ em 2	10
Muito alto	1 em 3	9
Falhas repetidas	1 em 8	8
Alto	1 em 20	7
Moderadamente alto	1 em 80	6
Moderado	1 em 400	5
Relativamente baixo	1 em 2,000	4
Baixo	1 em 15,000	3
Remoto	1 em 150,000	2
Quase impossível	1 em 1.500,000	1

Para a categorização do nível de Severidade (S) serão utilizadas as pontuações sugeridas pela *Ford Motor* (1988).

**TABELA 2-2 – METODOLOGIA FMEA: CRITÉRIOS DE CONSEQUÊNCIA**

Consequência	Critério: Severidade da consequência	Pontuação
Perigoso	A falha é perigosa, ocorre sem aviso. Para a operação do sistema	10
Sério	A falha envolve consequências perigosas e/ou incumprimento de normas	9
Extremo	Produto fica inoperável com a perda de função primária. O sistema fica inoperativo	8
Alto	A performance do produto é severamente afectada. O sistema pode não operar	7
Significativo	A performance do produto é degradada, o produto/processo está operável mas com desempenho reduzido	6
Moderado	Produto/Item operável, mas com nível de conforto/ conveniência baixo. Cliente sente desconforto.	5
Baixo	Forma e acabamento não conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Forma e acabamento não conforme. Defeito notado por alguns clientes.	3
Muito menor	Forma e acabamento não conforme. Defeito notado pelos clientes mais exigentes	2
Nenhum	Sem efeito	1

Para a categorização do nível de detecção (D) igualmente como os factores de Ocorrência e Severidade, serão utilizadas as pontuações sugeridas pela *Ford Motor* (1988).

**TABELA 2-3 - METODOLOGIA FMEA: CRITÉRIOS DE DETECÇÃO**

Detecção	Critério: detecção da ocorrência	Pontuação
Quase impossível	Não é conhecido controlo disponível para detetar o modo de falha.	10
Muito Remota	Probabilidade muito remota de que o controlo atual irá detectar o modo de falha.	9
Remota	Probabilidade remota de que o controlo atual irá detectar o modo de falha.	8
Muito Baixa	Probabilidade muito baixa de que o controlo atual irá detectar o modo de falha.	7
Baixa	Probabilidade baixa de que o controlo atual irá detectar o modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta de que o controlo atual irá detectar o modo de falha.	4
Alta	Probabilidade alta de que o controlo atual irá detectar o modo de falha.	3
Muito alta	Probabilidade muito alta de que o controlo atual irá detectar o modo de falha.	2
Quase certamente	Controlo atual quase certamente irá detectar o modo de falha. A confiança nos controlos de detecção é conhecida em processos similares.	1

### 2.2.2 Desenho do Mapa de FMEA

Neste capítulo é exemplificado o *layout* da metodologia FMEA, passando-se de seguida à explicação de cada campo constituinte da metodologia. O *layout* representado na Figura 2-2 foi adaptado do modelo apresentado no Manual de Referência da *Ford Motor* (1988).

FMEA FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS SYSTEM FMEA																		
System: 5		Process responsibility: 6			FMEA Number: 1		Page: _____ of 2		Prepared By: _____		FMEA date: _____		Rev. _____					
Core team: 8		Key date: _____			3		4											
Subsystem	Potential failure mode	Potential effects of failure	Sev	Class	Potential cause(s) mechanism(s) of failure	Occur	Current process controls	Detec	RPN	Recommended actions	Responsibility & target completion date	Actions results						
												Actions taken	Sev	Occur	Detec	RPN		
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21						22

FIGURA 2-2 LAYOUT ADAPTADO DO MODELO DO MANUAL DE REFERÊNCIA *FORD MOTOR* (1988)

Conforme referido anteriormente, a figura acima representada corresponde ao modelo para realização de uma FMEA sugerido pelo Manual de Referência (*Ford Motor*, 1988). O mapa possui um cabeçalho onde são reunidas todas as informações sobre o processo, produto ou serviço a que se refere a análise, numeração do documento para uma maior rastreabilidade, equipa e responsável pelo processo FMEA (numerações de 1 a 8). Abaixo encontra-se descrito em pormenor o conteúdo de cada coluna integrante do modelo de FMEA apresentado (*Ford Motor*, 1988).

- 9) Função do equipamento: descrição do equipamento em análise, esta descrição deverá ser concisa mas deverá reunir toda a informação referente ao equipamento e quais as tarefas que o mesmo realiza;
- 10) Modo potencial de falha: é definido pela forma como o equipamento poderá falhar. É a descrição do acontecimento que pode ocorrer e que poderá levar à paragem do equipamento ou funcionamento defeituoso ou ineficiente;
- 11) Potenciais efeitos da falha: são definidos como os efeitos do modo de falha para o cliente, sendo que o cliente poderá ser a próxima operação ou operações subsequentes. Descreve os efeitos da falha em relação a que tipo de cliente irá notar a sua evidência, sendo que para o consumir final os efeitos devem ser evidenciados em relação à performance do produto ou serviço, como por exemplo ruído, inoperatividade, instável, etc. Podem existir diferentes efeitos para o mesmo modo de falha.
- 12) Severidade: conforme referido anteriormente é avaliada a gravidade dos efeitos da ocorrência de um modo de falha. Os níveis de severidade encontram-se resumidos na Tabela 2-2.
- 13) Classificação: esta coluna é utilizada para classificar características especiais do processo ou produto, como por exemplo crítico, principal, maior, significativa, para componentes, subsistemas ou sistemas que requerem medidas adicionais de controlo.
- 14) Potenciais causas/Mecanismo da falha: é identificada a forma como a falha pode ocorrer em relação a algo que pode ser corrigido ou controlado. Nesta coluna são listadas todas as causas de falha para cada potencial modo de falha. Se existe uma causa exclusiva para um modo de falha considera-se que esta parte do processo FMEA encontra-se concluída. Contudo muitas causas não são exclusivas, sendo necessário o desenvolvimento de um desenho de experiências para identificar qual a causa raiz que mais contribui para a falha e que mais facilmente é controlável.
- 15) Ocorrência: também conforme referido anteriormente a ocorrência corresponde à frequência em que uma causa específica é espectável que ocorra. A classificação da ocorrência listada na Tabela 2-1 tem um significado em vez de um valor. Se existir um registo histórico de um processo idêntico, estes dados deverão ser utilizados de forma a obterem-se classificações mais próximas da realidade.
- 16) Processo de controlo: são definidas as medidas que têm como objectivo prevenir a ocorrência da falha ou pelo menos detectar a sua ocorrência. Existem três tipos

de processo de controlo, sendo que preferencialmente devemos implementar as medidas do tipo 1.

1. Prevenir a ocorrência da causa/mecanismo ou modo de falha/efeito, ou reduzir a sua probabilidade de ocorrência
2. Detectar a causa/mecanismo e levar a acções correctivas
3. Detectar o modo de falha

17) Detecção: tal como a categoria indica, a detecção corresponde à capacidade que o sistema tem de detectar a ocorrência dos modos de falha. Dentro desta categoria temos três níveis de detecção diferentes consoante os processos de controlo. Relativamente aos processos de controlo do tipo 2, o nível de detecção dependerá da probabilidade de detecção das causas potenciais dos modos de falha. Relativamente aos processos de controlo do tipo 3 detectar-se-ão os subsequentes modos de falha antes do componente ou produto sai do fluxo de produção ou de montagem. Os níveis de detecção são classificados conforme Tabela 2-3. A escolha aleatória de produtos para o controlo de qualidade não deve influenciar a classificação do nível de detecção, apenas deverão ser consideradas amostragens de controlo estatisticamente fiáveis.

18) Risk Priority Number (RPN): conforme referido anteriormente, este número resulta do produto dos níveis de severidade, ocorrência e detecção. Este número poderá encontrar-se num intervalo entre 1 e 1000. Para resultados mais elevados deverá haver um esforço para a redução deste número, sendo que normalmente este valor é inflacionado por níveis elevados de severidade.

19) Acções recomendadas: após a classificação dos vários modos de falha pelos respectivos RPNs, deverão ser sugeridas as acções correctivas para os modos de falha com RPNs mais elevados. O principal objectivo destas medidas são a redução dos níveis de severidade, ocorrência e/ou detecção. Existe a necessidade de sugestão e implementação de medidas correctivas com benefícios quantificáveis, acções de recomendação para outras actividades e medidas de follow-up para que o Processo FMEA seja efectivamente bem sucedido, sem a análise, estudo e implementação de acções preventivas e correctivas, este processo terá pouco impacto na prevenção da ocorrência da falha.

20) Responsável pela implementação de acções e data: corresponde à pessoa responsável pela implementação das acções recomendadas bem como a data limite de implementação. Deverá ser nomeada especificamente uma pessoa em vez de identificação de equipas de trabalho. As datas sugeridas deverão ser reais e executáveis;

21) Acções implementadas: resume as acções implementadas de forma a responder às acções recomendadas

22) Resultado das acções: esta coluna corresponde ao novo número de RPN recalculado após a implementação das medidas sugeridas. Esta informação é extremamente importante para a análise do nível de risco final. Por vezes existem medidas acções recomendadas que implicam a necessidade de investimento de elevado valor, e após o cálculo do novo RPN, verifica-se que existe uma redução mínima do risco para uma necessidade de investimento elevado, nestas situações é necessário repensar nas acções recomendadas.

### 2.2.3 Tipos de FMEA

Devido à grande abrangência da aplicabilidade da metodologia FMEA, o modelo base evoluiu em vários tipos de FMEA consoante o seu âmbito de aplicação. Segundo Stamatis (2003) existem quatro tipos de FMEA consoante a sua área de aplicação, na Figura 2-3 estão representados os tipos de FMEA e as suas relações.

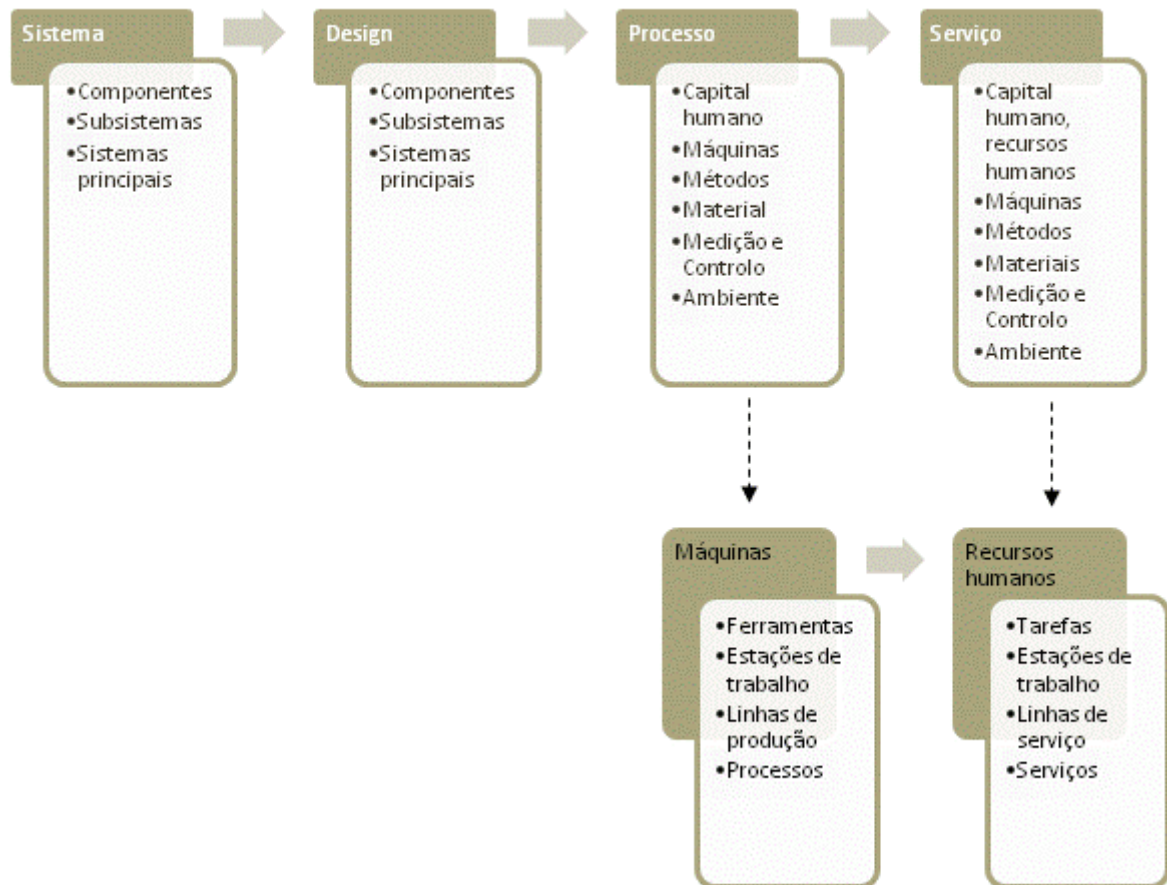


FIGURA 2-3 TIPOS DE MODELOS FMEA, ADAPTADO STAMATIS (2003)

Nas subsecções seguintes são abordados em detalhe os vários tipos de modelos FMEA, a sua aplicabilidade, *out-puts* e quais os benefícios da sua implementação, de acordo com Stamatis (2003).

#### 2.2.3.1 FMEA de Sistema

O **FMEA de sistema** é utilizado para analisar sistemas e subsistemas na fase primária de concepção ou desenho. Foca-se em potenciais modos de falha entre as funções do sistema causados por deficiências do sistema, sendo incluídas as interações entre

sistemas e elementos do sistema. O principal objectivo é a maximização da qualidade do sistema, aumento da fiabilidade, redução de custos e aumento da manutibilidade.

Os outputs deste tipo de sistemas são:

- Lista de potenciais modos de falha devidamente classificados pelo RPN;
- Lista das funções do sistema que podem detectar potenciais modos de falha;
- Lista de acções no *design* para eliminar modos de falha, condições de segurança e redução de ocorrência.

Com os seguintes benefícios:

- ✓ Ajuda a seleccionar o projecto alternativo;
- ✓ Ajuda a determinar a necessidade de redundâncias;
- ✓ Ajuda a definir os procedimentos de diagnóstico das bases dos sistemas;
- ✓ Aumenta a probabilidade de potenciais problemas serem considerados;
- ✓ Identifica potenciais falhas dos sistemas e a sua interacção com outros sistemas e subsistemas.

### 2.2.3.2 FMEA de Design

O **FMEA de design** é utilizado para analisar os produtos antes do seu lançamento para produção em massa. O FMEA de *design* foca-se nos modos de falha causados por deficiências do *design* do produto. O principal objectivo deste tipo de FMEA é a maximização da qualidade do produto, aumento da fiabilidade, redução de custos e aumento da manutibilidade.

Os outputs do FMEA de *design* são:

- Lista de potenciais modos de falha classificados pelo RPN;
- Lista de características significantes ou críticas do produto;
- Lista de acções de *design* utilizadas para eliminar modos de falha, condições de segurança e redução de ocorrências;
- Lista de parâmetros de teste, inspecção e identificação de modos de detecção;
- Lista de acções com recomendações de acções para as características críticas ou consideradas significantes.

Existem os seguintes benefícios com a implementação deste tipo de FMEA:

- ✓ Estabelece a prioridade para a implementação de acções de melhoria;
- ✓ Documenta a razão para alterações;
- ✓ Reúne informação para ajudar a verificação e teste dos produtos;
- ✓ Ajuda a identificar as características críticas ou significativas do produto;
- ✓ Assiste na avaliação dos requisitos de *design*;
- ✓ Ajuda a identificar e eliminar potenciais problemas de segurança;
- ✓ Ajuda a identificar a falha prematura do produto.

### 2.2.3.3 FMEA de Processo

O **FMEA de processo** é utilizado para a análise dos processos de fabrico e de montagem do produto. Um FMEA de processo foca-se nos modos de falha causados pelo processo ou montagem deficientes. O principal objectivo deste tipo de FMEA é a maximização da qualidade do processo total de produção, aumento da fiabilidade, redução de custos e aumento da manutibilidade e produtividade.

Os outputs do FMEA de Processo são:

- Lista de potenciais de modos de falha classificados pelo RPN;
- Lista de características críticas ou consideradas significantes do produto;
- Lista de acções para a eliminação das causas dos modos de falha, redução de ocorrência e melhoria do sistema de detecção da falha.

Quais os benefícios da implementação deste tipo de FMEA?

- ✓ Identifica processos deficientes e oferece um plano de correcção;
- ✓ Identifica as características consideradas críticas ou significativas para o produto e ajuda a desenvolver planos de controlo;
- ✓ Estabelece uma prioridade de acções correctivas;
- ✓ Assiste na análise do processo de fabrico ou montagem;
- ✓ Documenta a necessidade de alterações.

### 2.2.3.4 FMEA de Serviço

O **FMEA de serviço** é utilizado para analisar os serviços antes de serem explorados pelo cliente. Um FMEA de serviço foca-se nos modos de falha (tarefas, erros, enganos) causados por sistemas ou processos deficientes de um serviço prestado. O principal objectivo deste tipo de FMEA é a maximização da satisfação do cliente através do aumento de fiabilidade e qualidade dos serviços.

Os *outputs* são:

- Lista de potenciais erros classificados pelo RPN;
- Lista de tarefas ou processos considerados críticos ou significantes para o serviço;
- Lista de processos ou tarefas considerados gargalos no serviço;
- Lista de erros para eliminação;
- Lista de funções de monitorização do processo ou do sistema.

Os benefícios da implementação deste tipo de FMEA são:

- ✓ Assiste na análise do *job flow*<sup>3</sup>;
- ✓ Assiste na análise dos serviços;
- ✓ Identifica as deficiências das tarefas;

---

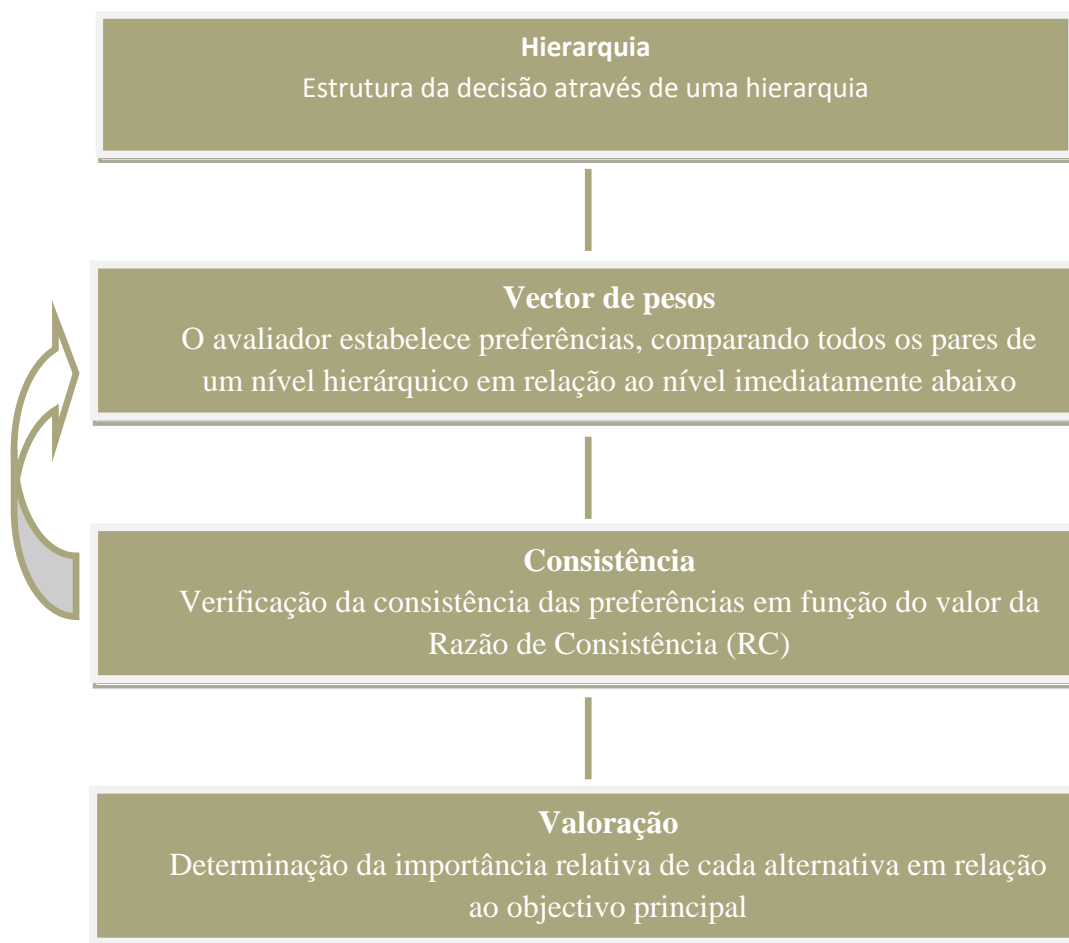
<sup>3</sup> Fluxo de produção/operação

- ✓ Identifica tarefas consideradas críticas ou significativas e ajuda no desenvolvimento de planos de controlo;
- ✓ Estabelece prioridades para a implementação de acções de melhoria;
- ✓ Documenta a necessidade de alterações.

## 2.3 METODOLOGIA AHP PARA TOMADA DE DECISÃO

Este subcapítulo tem como objectivo abordar uma das mais famosas metodologias para a tomada de decisão com multi-critérios, a metodologia AHP foi desenvolvida para otimizar a decisão, quando o decisor é enfrentado com um misto de factores qualitativos e quantitativos, sendo que por vezes, existem factores que entram em conflito entre si.

Trata-se de uma metodologia estruturada para resolver situações complexas, através da melhor decisão dentro de várias alternativas, consoante as necessidades e compreensão do problema por parte do avaliador. A estrutura do modelo de decisão resume-se através da Figura 2-4. No capítulo seguinte são abordados de forma mais descritiva os passos de implementação da metodologia AHP.



**FIGURA 2-4 ESQUEMA RESUMO DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA AHP,**  
*ADAPTADO DE VILAS BOAS (2006)*

A metodologia AHP é uma das principais metodologias de tomada de decisão multi-critério que foi desenvolvido por Thomas L. Saaty nos anos 70 do século XX. Esta metodologia foi desenvolvida com o objectivo de apoiar a decisão na aquisição de armas e definição de localizações, enquanto Saaty era professor na Wharton School of Business e consultor da Agência de Controlo e Desarmamento de Armas. Nesta agência, Thomas Saaty deparou-se com o problema dos custos elevados e uma série de considerações e especificações com vários factores que chocavam entre si (Alexander, 2012).

Após o desenvolvimento da metodologia, Thomas Saaty alargou a utilização da metodologia AHP além dos objectivos militares, existindo várias referências, desde o simples estudo para a escolha da escola para o seu filho, como o planeamento dos sistemas de transporte do Sudão. Desde então, a simplicidade e eficácia da metodologia AHP alargou a sua abrangência a uma grande variedade de áreas, desde financeira, governamental, social, identificação de estudos, recursos humanos e defesa entre outras áreas, onde seja necessária a tomada de decisão (Coyle, 2004).

A metodologia AHP foi e é amplamente estudada, comentada e criticada por uma grande diversidade de autores, levando a uma grande variedade de comentários e adaptações à metodologia originalmente desenvolvido por Saaty. Bertolini and Bevilacqua (2006) desenvolveram uma metodologia que reúne o AHP e uma extensão de programação linear, de forma a definir o melhor tipo de manutenção para bombas na indústria de refinaria petroquímica. Já Braglia (2000) faz uma combinação entre as metodologias FMECA (*Failure mode, effects and criticality analysis*) e AHP, de forma a eliminar as falhas da metodologia FMECA, tendo desenvolvido a metodologia MAFMA (*Multi-Attribute Failure Mode Analysis*).

Também Costa and Vansnick (2008) desenvolveram a análise crítica de prioridade, derivado do autovalor que resulta da metodologia AHP. Outra referência bastante importante para este trabalho, refere-se ao estudo desenvolvido por Carnero (2006) sobre a aplicação da metodologia AHP na definição da política de manutenção preventiva, aplicada na indústria petroquímica e alimentar.

### **2.3.1 O princípio da metodologia AHP**

A metodologia AHP permite a decomposição de um problema, através de uma hierarquia de vários cenários, que podem ser facilmente compreendidos e avaliados. As avaliações subjectivas são convertidas em valores numéricos e escalonados segundo uma escala. A metodologia AHP pode ser descrita de acordo com os passos que se apresentam de seguida

**Passo 1:** o problema é decomposto através de uma hierarquia de objectivos, critérios e subcritérios e alternativas. Este passo é o mais importante, uma vez que o avaliador tem que ter criatividade e rigor para a tomada de decisão. A estruturação do problema segundo uma hierarquia é fundamental para a metodologia AHP. A hierarquia indica a

relação entre elementos do mesmo nível e com o nível imediatamente abaixo. Esta relação é repercutida para os níveis abaixo da hierarquia e de algum modo todos os níveis estão interligados, mesmo de forma indirecta. Saaty (1991) sugere que uma forma prática para estruturar a hierarquia consiste no desenvolvimento da metodologia a partir do objectivo principal e posteriormente construir as alternativas até aos níveis até que os dois processos estejam ligados de forma que a comparação seja possível. A Figura 2-5 representa de uma forma genérica a estrutura da hierarquia, sendo que na base temos o objectivo principal do problema em avaliação, e nos níveis mais abaixo temos as várias alternativas. Entre o objectivo principal e as alternativas, podem existir vários critérios e subcritérios consoante a necessidade do modelo para avaliação do problema.

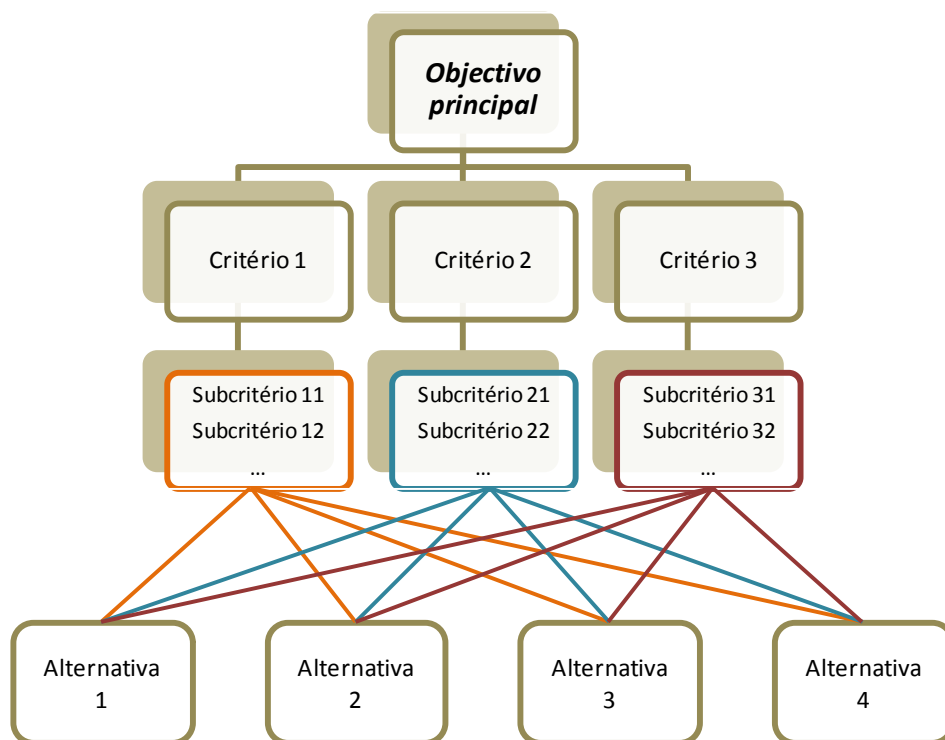


FIGURA 2-5 CONSTRUÇÃO DA HIERARQUIA PARA COMPARAÇÕES PAR-A-PAR, ADAPTADO SAATY (1991)

**Passo 2:** recolha de dados dos peritos e decisores relativamente à estrutura da hierarquia, para as comparações par-a-par das alternativas de uma forma qualitativa. O avaliador pode avaliar comparações com peso igual, relativamente forte, forte, muito forte e extremamente forte. Após esta avaliação, as avaliações qualitativas são convertidas em classificações conforme a Tabela 2-4 desenvolvida por Saaty (1991).

**TABELA 2-4 - ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO PARA COMPARAÇÕES PAR-A-PAR, ADAPTADO DA ESCALA DE PREFERÊNCIAS DE SAATY (1991)**

Opinião	Pontuação
Igual	1
Relativamente forte	3
Forte	5
Muito forte	7
Extremamente forte	9
Valores intermédios	2, 4, 6, 8

**Passo 3:** As comparações par-a-par dos vários critérios efectuadas no passo 2 são organizadas numa matriz quadrada. Os elementos da diagonal serão sempre 1, caso contrário a metodologia foi mal implementada. A pontuação existente na linha ( $C_i$ ) será melhor que o critério da coluna ( $C_j$ ), sempre que o valor pontuado tenha um valor superior a 1, caso contrário, a importância do critério da coluna será maior em relação ao critério da linha.

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2j} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3j} \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ 1/a_{1j} & 1/a_{2j} & 1/a_{3j} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Em que:

- Se  $a_{ij} = \alpha$ , então  $a_{ji} = 1/\alpha$ , sendo que  $\alpha \neq 0$
- Se  $C_i$  tiver a mesma importância que  $C_j$ , então  $a_{ij} = a_{ji} = 1$

**Passo 4:** O próximo passo consiste na normalização da matriz de prioridades, em que se calculam os pesos relativos de cada elemento da matriz em função do somatório da respectiva coluna. Conforme Bhushan and Rai (2004), através deste processo de normalização é calculado o autovalor, que após normalização, será o vector prioridades. Este vector prioridades dará importância relativa dos vários critérios em análise.

Através da matriz de decisão, a metodologia AHP irá calcular resultados parciais segundo cada critério  $v_i(A_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, n$ . Estes resultados serão espelho das atribuições e avaliações efectuadas pelo avaliador. Segundo Gomes *et al.* (2004), a normalização será efectuada através de:

(2-1)

$$\sum_{i=1}^n v_i(A_j) = 1$$

Em que  $n$  corresponderá ao número de alternativas. Cada parte deste somatório será:

$$v_i(A_i) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2-2)$$

Pelo que fará com que o vector prioridades da alternativa  $i$  em relação ao critério  $C_k$  será:

$$v_k(A_j) = \frac{\sum_{i=1}^n v_i(A_j)}{n} \quad (2-3)$$

Após o cálculo do vector prioridades para as alternativas, o processo é repetido para os critérios e subcritérios Neste caso, o cálculo do vector prioridades dos critérios será calculado através da normalização dos seus valores segundo a (2-4):

$$w_i(C_j) = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^m c_{ij}}, j = 1, 2, \dots, m \quad (2-4)$$

Em que  $m$  será o número de critérios do mesmo nível da hierarquia. O vector prioridades dos critérios será calculado:

$$w(C_i) = \frac{\sum_{i=1}^m w_i(C_i)}{m}, i = 1, 2, \dots, m \quad (2-5)$$

Para o cálculo do objectivo final, que será a hierarquização das várias alternativas segundo um conjunto de condições que estarão agregadas nos critérios e subcritérios a ordenação será obtida através da (2-6):

$$f(A_j) = \sum_{i=1}^m w(C_i) \cdot v_i(A_j), j = 1, 2, \dots, m \quad (2-6)$$

Através desta fórmula, os valores serão ordenados segundo uma escala de 0 a 1, que corresponderá desde o valor de menor importância, próximo de zero, e o valor de máxima importância que será próximo de 1.

**Passo 5:** Finalmente a implementação da metodologia é avaliado através da análise do índice de consistência (IC). Segundo Saaty (1991), uma matriz  $A = (a_{ij})$  com  $n \times n$  elementos positivos, sendo que  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ , apenas será consistente somente se  $\lambda_{\max} \geq n$ . Os valores de  $a_{ij}$  ao serem obtidos através de julgamentos, opiniões e suposições

podem não estar correctamente relacionados entre si. Saaty (1991) permitiu a medição da inconsistência da aplicação do modelo devido à sua aplicação através da lógica de preferência. A inconsistência é evidente quando comparando 3 itens (A, B e C), como exemplo, se avariarmos A mais importante que B, e o item B for mais importante que C, pelo princípio da lógica, o item A deverá ser mais importante que C. Caso esta situação não se verifique, a comparação efectuada não é consistente.

Para o cálculo do índice de consistência da matriz, Saaty (1987) considerou a (2-7):

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2-7)$$

Onde  $\lambda_{max}$  corresponde ao maior autovalor da matriz de preferência e n será a ordem da matriz, sendo que  $\lambda_{max}$  será calculado através da (2-8):

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_i \cdot \frac{Aw_i}{w_i} \quad (2-8)$$

Contudo, Saaty (1991) desenvolveu ainda uma forma de validar os valores ou escalas de prioridades através do cálculo da razão de consistência (RC). Este cálculo permite avaliar a se as avaliações foram coerentemente efectuadas, através do cálculo do índice de consistência (IC) e do *random index* (RI). Para o cálculo da razão de consistência é utilizada a fórmula:

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (2-9)$$

Sendo que o índice aleatório corresponde a uma escala desenvolvida por Saaty (1987) e que dependerá da ordem da matriz (n). Abaixo encontra-se na Tabela 2-5.

**TABELA 2-5 - ESCALA DE ÍNDICES ALEATÓRIOS, ADAPTADO DE SAATY (1987)**

Ordem da matriz	2	3	4	5	6	7	8	9
Random index (RI)	<b>0,00</b>	<b>0,58</b>	<b>0,90</b>	<b>1,12</b>	<b>1,24</b>	<b>1,32</b>	<b>1,41</b>	<b>1,45</b>

O valor da razão de consistência apenas será considerado válido quando apresentar um valor inferior a 0,10 - valor limite considerado por Saaty que justifica a objectividade da avaliação efectuada.

### 2.3.2 Aplicações da metodologia AHP

Desde a descoberta da metodologia AHP, as suas aplicações têm vindo a ser cada vez mais abrangentes (Bhushan and Rai, 2004):

- Selecção de melhor opção entre várias alternativas
- Priorização de alternativas
- Alocação de recursos para a obtenção da melhor combinação entre alternativas e vários constrangimentos
- *Benchmarking*<sup>4</sup> de processos e sistemas
- Gestão da qualidade

A nível dos domínios, a metodologia AHP tem sido utilizada em diferentes áreas, desde medicina, defesa, gestão de projectos, *marketing*<sup>5</sup>, identificação de preços de venda para novos produtos, previsões económicas, ciências sociais. Além destas aplicações, temos também a aplicação em gestão de conflitos, operações militares, planeamento regional e urbanístico e recursos humanos, a metodologia AHP tem vindo a ser uma importante ferramenta para a tomada de decisão. Existem vários autores que efectuaram vários estudos sobre as várias aplicações da metodologia AHP, por exemplo, Vaidya and Kumar (2006) efectuaram um estudo dos vários temas onde a metodologia AHP foi implementada, representado na Figura 2-6, e áreas de aplicação onde a metodologia foi implementada, representado na Figura 2-7.

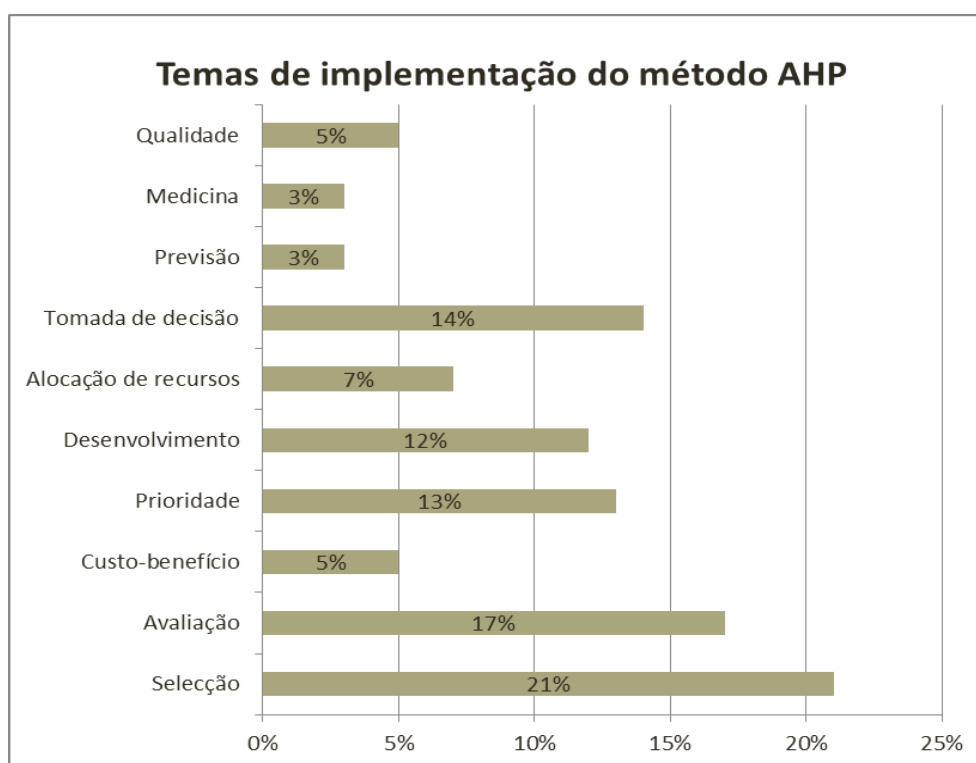


FIGURA 2-6 TEMAS DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA AHP, ADAPTADO DE VAIDYA AND KUMAR (2006)

<sup>4</sup> Processo de análise e estudo das práticas realizadas em empresas da mesma área ou sector de indústria

<sup>5</sup> Área de estudo dos produtos e serviços que podem interessar os consumidores

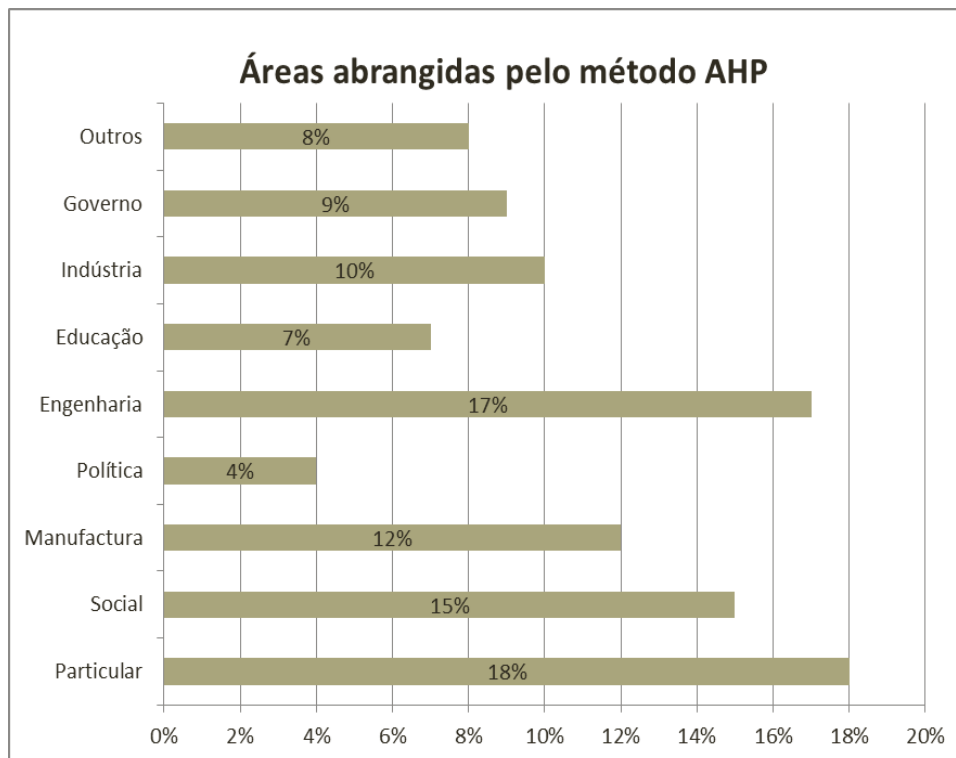


FIGURA 2-7 ÁREAS ABRANGIDAS PELA METODOLOGIA AHP, ADAPTADO DE VAIDYA AND KUMAR (2006)

### 2.3.3 Falhas, Modificações e Extensões da metodologia AHP

Apesar da grande aplicabilidade da metodologia AHP nos mais diferentes domínios, existem alguns pontos que são criticados. O primeiro problema relaciona-se com inversão das classificações, tendo este problema sido apontado por Belton (1983). Sendo que em muitos cenários, as classificações obtidas através da avaliação das várias alternativas, poderiam ser alteradas com a inserção de novas alternativas. Para este problema, este autor desenvolveu uma alternativa com a reavaliação das matrizes, sendo inserida uma nova coluna com elementos similares aos valores originais relativos à avaliação anterior.

Como qualquer modelo, a metodologia AHP possui pontos fracos, Bhushan e Rai (2004) referem as seguintes falhas ou lacunas:

1. Os fornecedores são penalizados incorrectamente
2. A escala de classificação é imprecisa
3. O processo pode gerar inconsistências devido aos artefactos criados para o cálculo e que não tem qualquer influência na consistência da avaliação
4. Possibilidade da inversão da classificação

Apesar das controvérsias em torno da metodologia AHP, a verdade é que é uma metodologia extremamente utilizada para a tomada de decisão. A sua facilidade de utilização e implementação resultou numa vasta aplicação, desde estratégias para jogos

de guerra, previsão de novas tecnologias, escolha de candidatos presidenciais nos estados Unidos da América, chegando mesmo à escolha da compra ideal de um carro.

Já o autor Ishizaka (2009) aponta algumas limitações e problemas, nomeadamente:

- Problema da estruturação: em que a hierarquização desenhada poderá influenciar a avaliação final, uma vez que com estruturas diferentes, o valor final poderá ser influenciado. Consoante o aumento do número de subcritérios o peso final do critério tende em aumentar, em contrapartida, critérios com menos subcritérios têm tendência a ser penalizados;
- Comparações par-a-par: existe uma grande subjectividade na realização das comparações par-a-par, uma vez que a avaliação será facilmente influenciada pela opinião do avaliador;
- Escalas de Avaliação: este poderá ser o factor mais polémico na metodologia AHP, existem vários autores que criticam eficácia da escala desenvolvida por Saaty (1991) e outros acabaram por desenvolver modelos seus adaptados às suas escalas. A Tabela 2-6 representada resume algumas escalas desenvolvidas.

TABELA 2-6 - ESCALAS QUE DERIVARÃO DO MODELO DE SAATY, ADAPTADO DE ISHIZAKA (2009)

Tipo de escala	Valores								
<b>Linear</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Quadrática</b>	1	4	9	16	25	36	49	64	81
<b>Geométrica</b>	1	2	4	8	16	32	64	128	256
<b>Logarítmica</b>	1	1.58	2	2.32	2.58	2.81	3	3.17	3.32
<b>Raiz quadrada</b>	1	1.41	1.73	2	2.23	2.45	2.65	2.83	3

## 2.4 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Nos dias de hoje as empresas são cada vez mais pressionadas para reduzir o *Lead Time* dos seus produtos, havendo várias áreas que contribuem para que estes tempos sejam cada vez menores. Desde a logística, qualidade, engenharia, manutenção, são inúmeras as áreas do conhecimento que contribuem para que a Organização consiga colocar o seu produto no mercado mais cedo que os seus concorrentes.

No caso da manutenção é exigido que as suas máquinas e equipamentos tenham uma maior disponibilidade ao menor custo, sendo o número de ocorrência de avarias um dos factores de afectação. Com este objectivo, existem indicadores de manutenção predefinidos, capazes de espelhar o estado e desempenho da função da manutenção, denominando-se por KPIs (*Key Performance Indicators*) capazes de calcular as várias condições que podem influenciar a evolução da manutenção (Cabral, 2009). Também,

mediante a especificidade de cada processo, os indicadores de manutenção devem ser definidos, de forma a se chegar a um aumento da eficiência na gestão da manutenção, (Siqueira, 2005; Simonetti *et al.*, 2010).

A Norma Europeia 15341 compila os vários KPIs dedicados à gestão da manutenção, estando subdivididos por influência de factores do meio envolvente da Organização e abrangência, segundo famílias de indicadores. Considera-se que os indicadores económicos são a única família influenciada pelo meio externo à Organização, uma vez que são vários os factores que podem influenciar indirectamente a manutenção, como a localização da empresa, legislação e custo laboral, situação económica e de mercado, entre outras. Os indicadores tecnológicos e organizacionais já são influenciados por factores internos à Organização, como por exemplo a sua cultura, variedade de produtos, dimensão e idade da fábrica, taxa de utilização dos equipamentos, entre outros.

A Tabela 2-7 resume os vários indicadores segundo as três famílias acima referidas e subdivididos pelos vários níveis. O nível 1 será um nível mais abrangente, sendo os níveis mais refinados e/ou específicos até ao nível 3.

**TABELA 2-7 - INDICADORES DE MANUTENÇÃO** *FONTE: EN 15341:2007*

<i>Família de indicadores</i>	<b>Nível de indicador</b>		
	<b>Nível 1</b>	<b>Nível 2</b>	<b>Nível 3</b>
<i>Indicadores Económicos (E)</i>	[E1; E6]	[E7; E14]	[E15; E24]
<i>Indicadores Técnicos (T)</i>	[T1; T5]	(T6, T7)	[T8, T21]
<i>Indicadores Organizacionais (O)</i>	[O1; O8]	(O9, O10)	[O11; O26]

Abaixo encontram-se descritos os indicadores utilizados pela empresa, onde se localiza a máquina em estudo, sendo parte dos indicadores adaptados da Norma Europeia 15341 e outros definidos internamente, de forma a avaliar o prestador de serviços de manutenção contratado pela OGMA – Indústria Aeronáutica de Portugal S.A.:

- **Tempo de Indisponibilidade:** Contabiliza o tempo desde que a máquina fica parada devido a avaria até à sua aceitação pela produção, normalmente existe um tempo em que a máquina encontra-se a realizar peças de teste, ou seja está operacional, mas ainda não foi validada pela produção que a anomalia já não existe.
- **Tempo médio de resposta:** corresponde ao tempo desde que é informada a inoperatividade da máquina até a equipa de manutenção começar a intervir
- **Tempo de impedimento:** corresponde ao tempo de espera de outras acções que têm que ser tomadas por outras áreas da Organização, por exemplo compra de material, tempo de transporte, ensaios de qualidade

- **Disponibilidade:** corresponde à probabilidade do equipamento se encontrar operacional e disponível para a produção, este indicador depende do tempo de indisponibilidade
- **Custos de manutenção:** corresponde à totalidade de custos directos ou indirectos da manutenção, sendo os custos directos referentes aos custos de aquisição de materiais, componentes, consumíveis, etc, e os custos de manutenção indirectos os custos de perda de produção, tempo de espera, perda de qualidade
- **MTBF:** representa o tempo em média entre duas falhas consecutivas, é um excelente indicador de fiabilidade em manutenção, uma vez que corresponde efectivamente ao tempo disponível para produção sem falhas
- **MTTR:** representa a média do tempo gasto em reparações num determinado intervalo. Este indicador reúne todos os tempos necessários à reparação do equipamento, nomeadamente manutenção, compra, logística, transporte, etc.

Também para este trabalho, os indicadores de manutenção foram uma importante ferramenta para a análise e estudo do estado do equipamento. Através de indicadores chave, foi possível avaliar se o equipamento se encontra repetidamente em avaria, se as reparações são consideradas de elevada complexidade, qual o tempo médio de reparação, qual o custo de reparação do equipamento e qual o tempo médio de equipamento disponível para a produção. Da experiência adquirida ao longo dos anos na actividade profissional que desempenho, foi-se constatando que a avaliação dos indicadores de manutenção, são a primeira etapa para identificação do equipamento com mais potencial para a implementação da metodologia FMEA.

### 3 ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO

No presente capítulo pretende-se que o leitor seja enquadrado do caso de estudo deste trabalho. É apresentada a empresa e fluxo produtivo onde se encontra inserida a máquina em estudo, bem como a filosofia de Manutenção Industrial aplicada aos equipamentos e instalações. Também é abordada neste capítulo a componente técnica do equipamento, através da identificação dos seus principais componentes e explicação do sistema de funcionamento do processo de prensagem.

As figuras e tabelas apresentadas neste capítulo têm como fonte única a OGMA – Indústria Aeronáutica de Portugal S.A.

#### 3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A OGMA – Indústria Aeronáutica de Portugal S.A. é uma empresa de actividade aeronáutica com uma longa experiencia na sua actividade. Teve a sua origem em 1918 dedicada à fabricação e manutenção de aeronaves. Actualmente o governo português detém 35% do capital da empresa, sendo os restantes 65% detidos pela EMBRAER (Empresa Brasileira de Aeronáutica).



**FIGURA 3-1** IMAGEM AÉREA DAS INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS DA OGMA - INDÚSTRIA AERONÁUTICA DE PORTUGAL S.A. *FONTE: OGMA – INDÚSTRIA AERONÁUTICA DE PORTUGAL [CONSULT. 2015]*

A OGMA ocupa uma área 440.000m<sup>2</sup>, sendo que 150.000 m<sup>2</sup> são constituídos por instalações cobertas, incluindo 10 hangares de manutenção aeronáutica, áreas de fabricação modernas, uma área de manutenção de motores de grande dimensão e múltiplas oficinas de apoio.

A OGMA está dividida em 3 ramos distintos: o ramo de Negócio de Manutenção, o ramo de Negócio de Aeroestruturas e o Ramo de Serviços de apoio. Estando a área de Manutenção Industrial inserida neste último.

A área da Manutenção Industrial está responsável pela manutenção de mais de 90 edifícios, mais de 3000 equipamentos, redes de média e baixa tensão, redes de distribuição de gás e água, rede de vapor, rede de ar comprimido, rede telefónica e rede de dados.

### 3.2 TIPOLOGIA DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção dos equipamentos e infra-estruturas da empresa estão subdivididas em dois tipos, nomeadamente as acções de manutenção realizadas no âmbito do TPM (Total Productive Maintenance) e as acções de manutenção realizadas pela equipa de Manutenção Industrial. Cada equipamento possui 3 níveis diferentes de manutenção, nomeadamente as acções de TPM, Manutenção Preventiva e Manutenção Correctiva, sendo que os dois últimos são garantidos pela área de Manutenção Industrial.

Dentro da manutenção preventiva, existem três grandes áreas de actuação, nomeadamente os planos de manutenção, planos de lubrificação e planos de controlo de condição, nomeadamente controlo de vibrações, controlo de qualidade de óleos hidráulicos e controlo de fadiga de materiais. A Figura 3-2 resume a Organização das várias acções de manutenção inerentes à actividade diária da Manutenção Industrial.

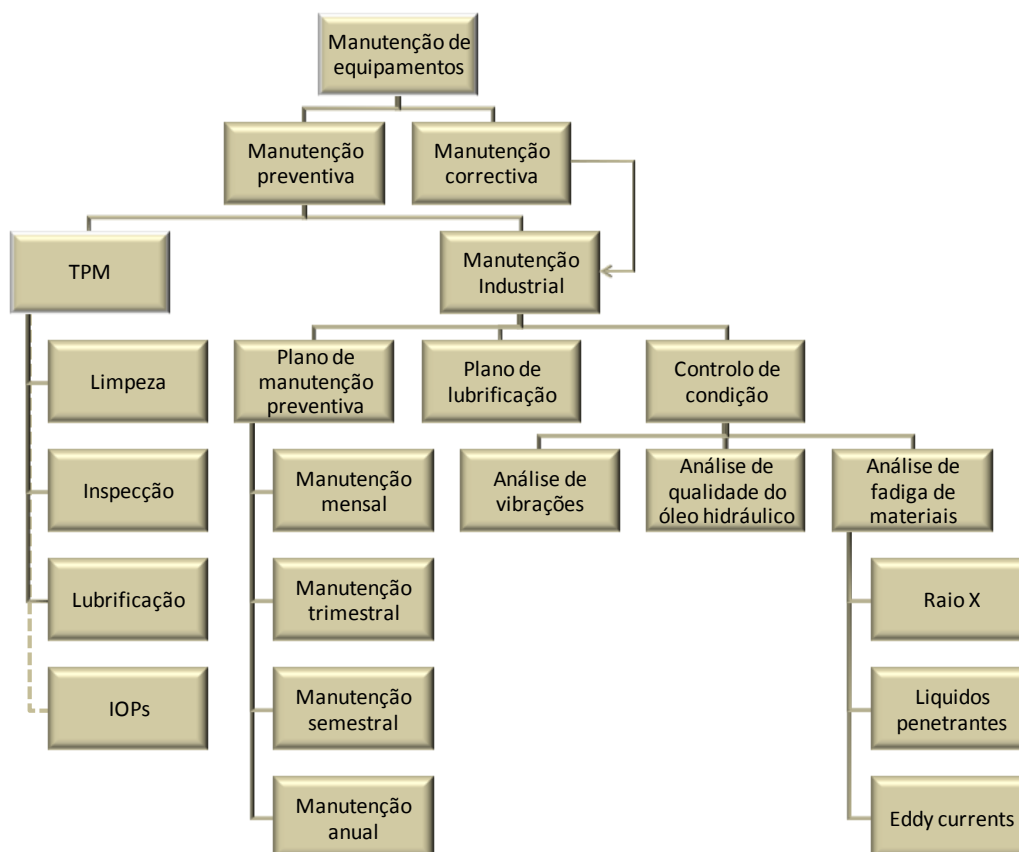


FIGURA 3-2 ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

As tarefas de manutenção realizadas no âmbito da TPM são, normalmente realizadas antes e no final de cada turno. Estas tarefas são de curta duração, e consistem em tarefas

de limpeza, inspecção e organização do posto de trabalho. No final de cada turno os operadores deixam as máquinas devidamente limpas para o turno seguinte. Para a realização deste tipo de manutenção, a Organização adoptou um sistema de símbolos e de cores, que indicam os locais que o operador deverá inspeccionar e limpar.

Todas as tarefas de manutenção de maior peso e relevância são realizadas pela Manutenção Industrial, que gere todas as actividades de manutenção preventiva, correctiva ou condicionada. A Manutenção Industrial surge como secção de suporte às áreas que agregam valor à Organização, tendo como principal objectivo garantir a boa funcionalidade e disponibilidade dos equipamentos, de forma que estejam disponíveis para a produção.

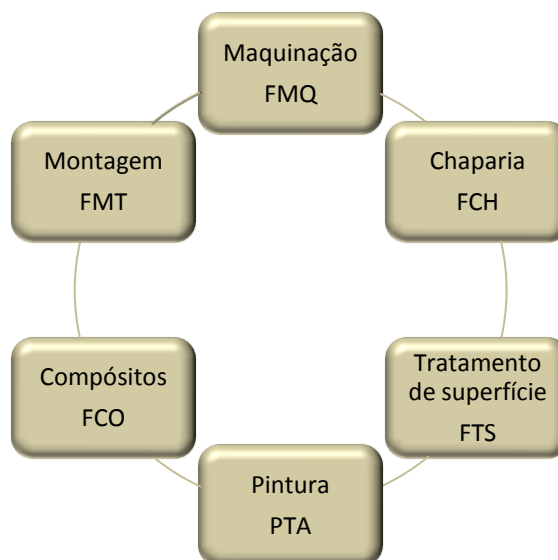
Devido ao elevado número de equipamentos e infra-estruturas da OGMA, a manutenção é gerida por um sistema de gestão que reúne a informação de todas as máquinas, equipamentos, ferramentas, infra-estruturas e redes. Os equipamentos são classificados consoante a sua criticidade para o fluxo de produção e a existência de equipamento de redundância. Estas criticidades são definidas pelas áreas de produção em parceria com a Manutenção Industrial, tendo sempre como objectivo determinar o nível de tempo de resposta aceitável para a resolução de anomalias, em caso de inoperacionalidade da máquina.

O sistema de gestão da manutenção consegue reunir várias funcionalidades inerentes às actividades de manutenção, nomeadamente agregação de toda a informação relativa ao equipamento, armazenamento do histórico do equipamento a nível de actividades correctivas, preventivas e materiais aplicados, gestão do plano de manutenção, criação de ordens de trabalho correctivas e cálculo dos indicadores principais da manutenção. Através do sistema de manutenção, a OGMA consegue garantir um processo robusto, que responde às necessidades preventivas e correctivas dos vários equipamentos.

Os indicadores de manutenção são constantemente monitorizados, sendo acompanhadas as paragens de máquina crítica com respectiva análise de disponibilidades operacionais e tempos de máquina parada, sempre com o objectivo da implementação de medidas de melhoria continua. Este trabalho é fulcral especialmente no acompanhamento de máquinas obsoletas ou em fim de vida.

### **3.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO**

A OGMA é totalmente autónoma no fabrico de aeroestruturas, sendo capaz de produzir a totalidade de painéis aeronáuticos, sem a necessidade de subcontratação de bens ou serviços. Este ramo de negócio está subdividido em várias áreas de fabrico e montagem, que agregam valor ao produto final. Para o sucesso final dos produtos de aeroestruturas, estas áreas interligam-se em total simbiose, de forma a garantir o cumprimento de tempos de entrega e requisitos de qualidade. Abaixo encontram-se representadas as áreas de produção que fazem parte da área de negócio de aeroestruturas.



6

**FIGURA 3-3 ÁREAS DE PRODUÇÃO DO NEGÓCIO DE AEROESTRUTURAS**

A máquina estudada no presente trabalho e alvo do caso de estudo desenvolvido, encontra-se inserida na área de chaparia, tendo a principal função de moldagem de painéis aeronáuticos. A prensa de moldagem da marca ASEA e modelo Quintus, encontra-se na base do fluxo de produção, passando por várias fases de processo o que a torna ainda mais fundamental. Trata-se de uma máquina única, sem qualquer redundância mecânica ou manual, que funciona com um sistema hidráulico complexo e uma componente de prensagem extremamente precisa, mas também sensível.

A prensa em estudo é utilizada para a prensagem e estampagem de painéis, em que as chapas são colocadas nos carros de prensagem e, através da pressão hidráulica, existe a prensagem das peças.

Na Figura 3-4 encontram-se descritos resumidamente os vários processos que um painel é submetido, até à montagem final ou ao armazenamento para entrega ao cliente.

Como se pode verificar, a Prensa ASEA encontra-se em várias fases do processo de produção, em que a mesma peça pode necessitar de ser prensada 6 vezes, consoante os requisitos de qualidade e produção. Sendo um ciclo de produção contínuo, existem gargalos na fase da prensagem e nos tratamentos térmicos, uma vez que, caso exista uma paragem nestas duas máquinas, o fluxo de produção pára devido à ausência de máquinas de redundância.

<sup>6</sup> Os termos utilizados para identificação das áreas de produção, foram adaptados à nomenclatura utilizada na Organização, como por exemplo, área de Maquinação.

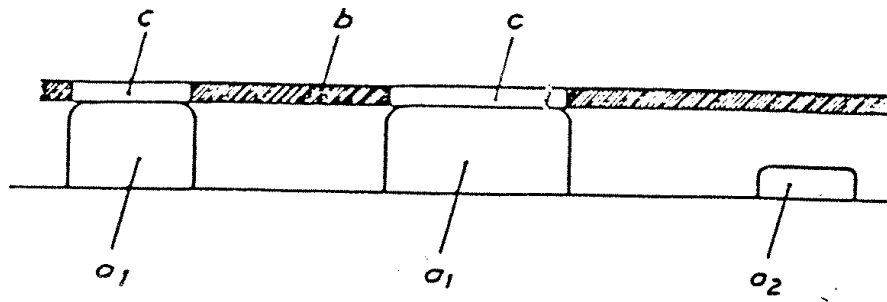


FIGURA 3-4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM DE PAINEL AERONÁUTICO

### 3.3.1 Descrição do processo de prensagem

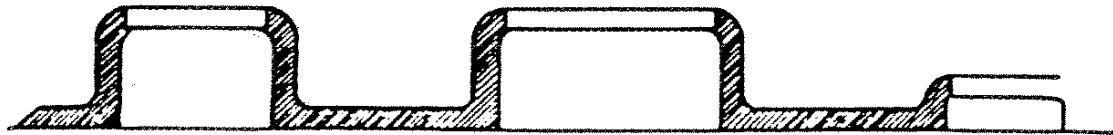
Neste subcapítulo é apresentado o modo de funcionamento do processo de prensagem. Este é um método amplamente utilizado na indústria, e sendo um processo bastante antigo, o conhecimento da tecnologia já é vasto.

A prensa ASEA é uma prensa hidráulica, que utiliza a pressão hidráulica exercida sobre um tapete (membrana), para a execução das peças conforme o molde utilizado. Na Figura 3-5 abaixo representam-se os moldes das peças quando é iniciado o ciclo de prensagem, através do aumento da pressão hidráulica, o diafragma da prensa (zona escutrecida) empurra as chapas contra os moldes, moldando a peça à conformação final. Os blocos O1, O2 e O3 representam os moldes das peças.



**FIGURA 3-5** ESQUEMA DE MOLDES PARA Prensagem de painéis *FONTE: MANUAL DE OPERAÇÃO ASEA FLUID CELL PRESS QCF 280-100 (1983)*

À medida que a pressão aumenta, o diafragma acaba por contornar os moldes, moldando as peças à sua geometria. Esta técnica é extremamente eficaz, porque permite abranger todos os contornos das peças, sem que haja a fragilização de arestas e a obtenção de ângulos negativos, que noutras máquinas seriam impossíveis de obter.



**FIGURA 3-6** ESQUEMA DE MODELO APÓS Prensagem *FONTE: MANUAL DE OPERAÇÃO ASEA FLUID CELL PRESS QCF 280-100 (1983)*

### 3.4 DESCRIÇÃO DA MÁQUINA

Neste subcapítulo é efectuada uma breve apresentação do equipamento que constitui o objecto do caso de estudo deste trabalho. Na tentativa de enquadrar o leitor sobre o funcionamento da prensa, na Figura 3-7 encontra-se representada a prensa com os dois carros laterais.



**FIGURA 3-7** PRENSA HIDRÁULICA ASEA

A Tabela 3-1 resume as principais características da prensa hidráulica.

**TABELA 3-1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA PRENSA HIDRÁULICA**

<b>Marca:</b>	<b>ASEA</b>
<b>Modelo:</b>	<b>QUINTUS Fluid Cell Press QCF 280-100</b>
<b>Número de Série:</b>	<b>L3689.1000</b>
<b>Ano de fabrico:</b>	<b>1983</b>
<b>Pressão máxima de trabalho:</b>	<b>100MPa</b>
<b>Força máxima:</b>	<b>280MN</b>
<b>Número de carros de prensagem:</b>	<b>2</b>
<b>Área de trabalho:</b>	<b>2220x915mm<sup>2</sup></b>
<b>Altura máxima de trabalho:</b>	<b>225mm</b>

#### **3.4.1 Principal sistema de funcionamento**

São várias as vantagens de utilização da pressão hidráulica através de membrana para a estampagem de peças, abaixo encontram-se espelhadas algumas vantagens consideradas para o processo e consequentemente para a Organização.

- ✓ A estampagem continua a ser um processo amplamente utilizado na indústria de painéis e estruturas aeronáuticas devido à eliminação de zonas de concentrações de tensões.
- ✓ A máquina permite atingir elevadas pressões de trabalho, sendo possível a estampagem de várias espessuras de material.
- ✓ Ao contrário dos processos habituais de estampagem, a prensa permite obter ângulos negativos nas peças numa só estampagem.
- ✓ Existe a possibilidade de manter um fluxo contínuo de produção através dos dois carros de prensagem. Enquanto decorre o processo de prensagem num carro (A) o operador poderá estar a preparar o segundo carro (B). O sistema encontra-se desenhado de forma a permitir que um carro entre na prensa quando o outro carro está a sair dum ciclo de prensagem.

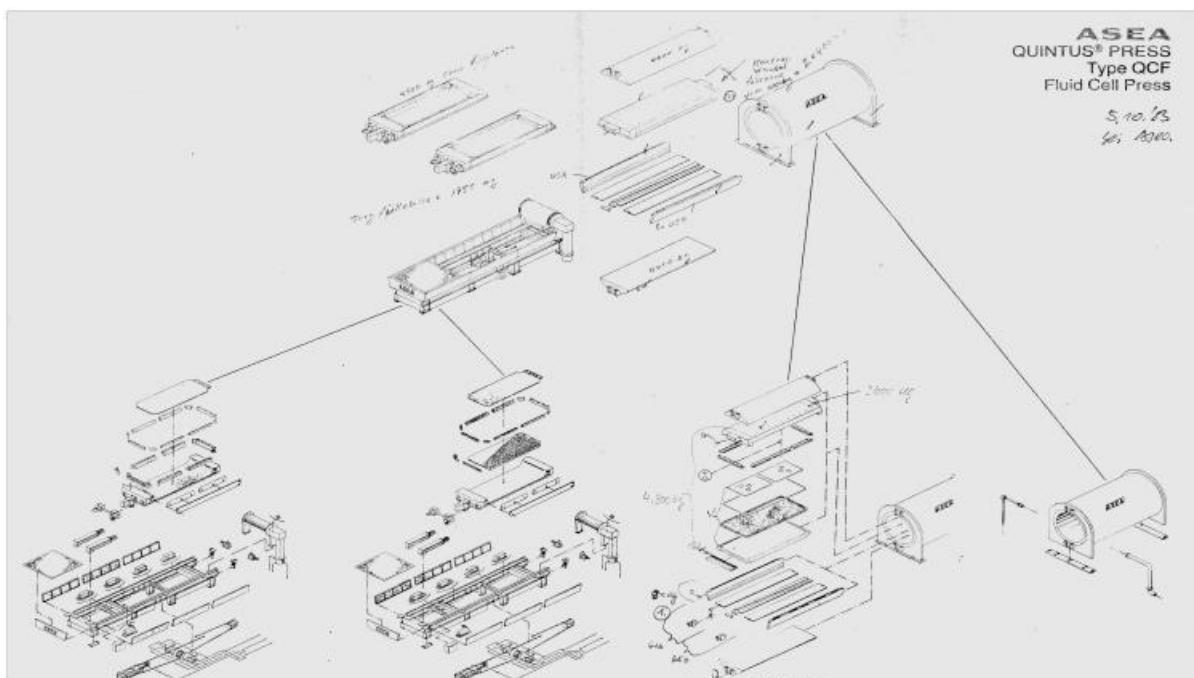
Para a realização de um ciclo de prensagem existem vários componentes que são accionados de forma a garantir todas as sequências e fases do programa. Na Tabela 3-2 encontram-se descritas as fases desde o arranque da máquina até ao término do ciclo:

**TABELA 3-2 RESUMO DE ETAPAS PARA A REALIZAÇÃO DE CICLO COMPLETO DE PRENSAGEM**

<i>Etapas</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Início dos motores eléctricos												
Deslocação lenta do carro												
Accionamento do tambor enrolador												
Deslocação rápida do carro												
Accionamento das bombas da linha de baixa pressão												
Accionamento das bombas da linha de alta pressão												
Bloqueio para prensagem												
Descompressão												
Accionamento da linha de vácuo												

### 3.4.2 Esquema de funcionamento

A presente secção tem como objecto resumir esquematicamente os vários circuitos que permitem o funcionamento da prensa hidráulica, estando representado na Figura 3-8 o esquema do equipamento. O equipamento é um complexo conjunto de vários componentes e circuitos, sendo a prensa por si só e o sistema hidráulico, os sistemas mais fulcrais para o funcionamento da prensa.



**FIGURA 3-8 ESQUEMA DE CONSTITUIÇÃO DE COMPONENTES MECÂNICOS DA PRENSA ASEA** FONTE: *MANUAL DE MANUTENÇÃO ASEA FLUID CELL PRESS QCF 280-100 (1983)*

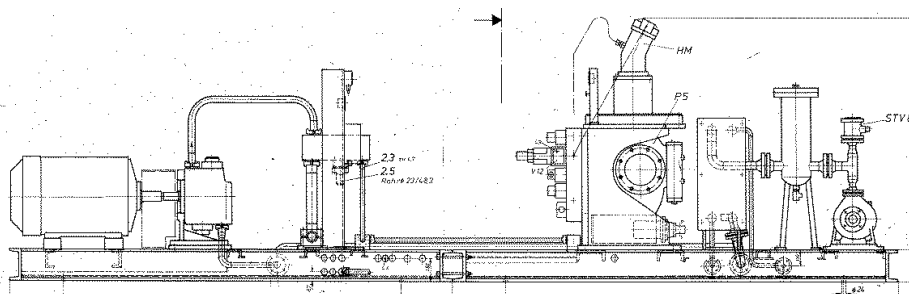
A Figura 3-9 resume todos os circuitos e sistemas que são parte integrante do equipamento em estudo.



**FIGURA 3-9 ESQUEMA DE CIRCUITOS NECESSÁRIOS AO FUNCIONAMENTO DA PRENSA**

Uma vez apresentado o esquema de funcionamento da prensa, as subsecções 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.4.2.4 e 3.4.2.5 e 3.4.2.5 demonstram os vários componentes mecânicos, eléctricos e hidráulicos constituintes dos sistemas da prensa hidráulica. Estas subsecções têm ainda como objectivo, transmitir e permitir ao leitor conhecer os vários constituintes da prensa, que foram avaliados através da metodologia FMEA, a qual é abordada mais adiante neste trabalho.

### 3.4.2.1 Sistema hidráulico



**FIGURA 3-10 DESENHO DE CONSTRUÇÃO DO SISTEMA HIDRÁULICO DA PRENSA**  
 FONTE: *MANUAL DE MANUTENÇÃO ASEA FLUID CELL PRESS QCF 280-100 (1983)*

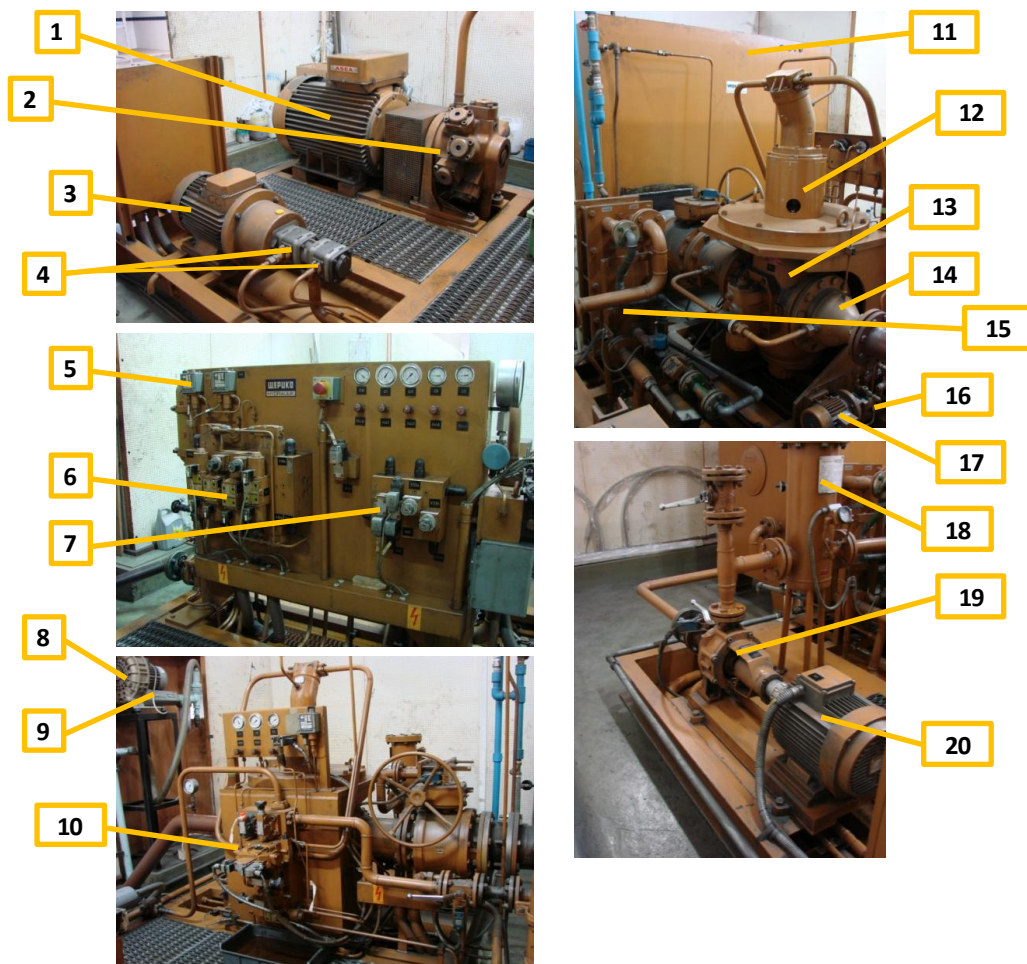
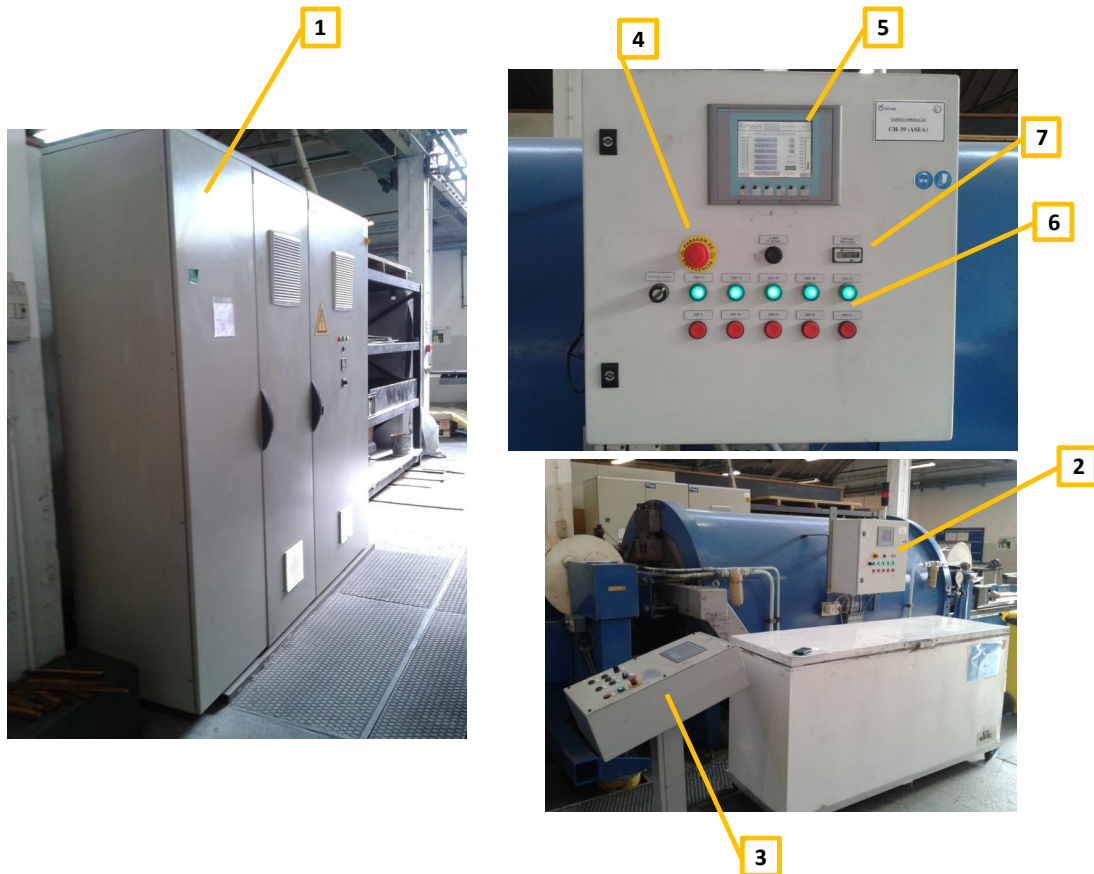


FIGURA 3-11 COMPONENTES CONSTITUINTES DO SISTEMA HIDRÁULICO

Abaixo encontra-se a descrição das referências representadas na Figura 3-11.

1. Motor M3, potência 90kW
2. Bomba P3, caudal 40l/min
3. Motor M2, potência 15kW
4. Bombas P2A e P2B, caudal 24 l/min e 30l/min
5. Pressostato
6. Bloco de válvulas de movimentação dos carros A e B
7. Bloco de válvulas de movimentação dos tambores A e B
8. Bomba de vácuo P6
9. Motor M4, potência 4 kW
10. Bloco de válvulas de regulação do enchimento da prensa
11. Depósito de óleo com capacidade para 2400l
12. Motor hidráulico HM1
13. Bomba P5, caudal 1900 l/min
14. Saída de óleo para prensa
15. Permutador água-óleo
16. Bomba P7, caudal 1,7 l/min
17. Motor M5, potência 0,25kW
18. Filtro de óleo
19. Bomba P1, caudal 180 l/min
20. Motor M1, potência 5,5kW

### 3.4.2.2 Sistema eléctrico



**FIGURA 3-12 COMPONENTES CONSTITUINTES DO SISTEMA DE ELÉCTRICO/CONTROLO DA PRENSA HIDRÁULICA**

Abaixo encontram-se descritas as referências identificadas na Figura 3-12.

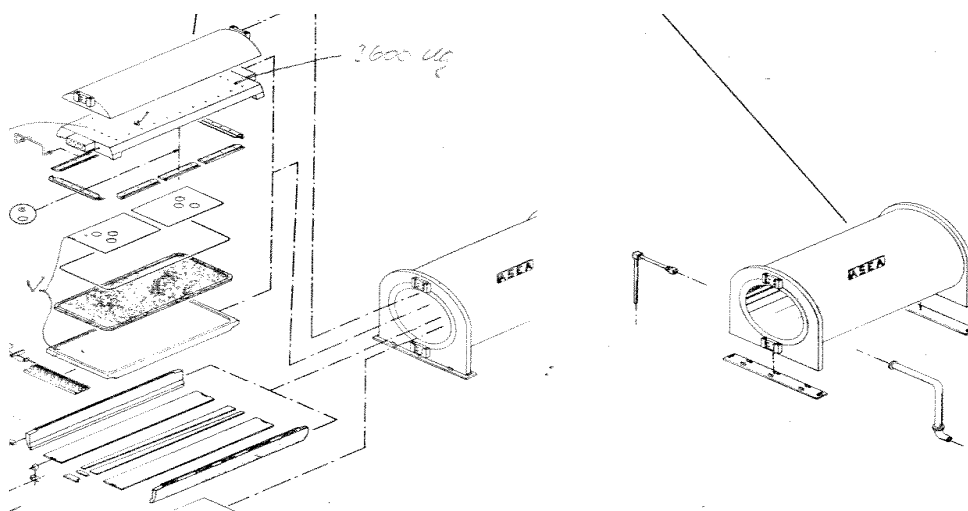
1. Quadro principal composto por autómato de comando e controlo da prensa, variadores de velocidade para comando dos motores e toda a cablagem de ligação entre o quadro e os respectivos equipamentos
2. Quadro de controlo
3. Quadro de comando dos carros, existem quadros independentes para cada carro
4. Botoneira de emergência
5. Consola de comando da prensa
6. Botoneiras de accionamento dos 5 motores afectos à prensa
7. Totalizador de ciclos

### 3.4.2.3 Prensa

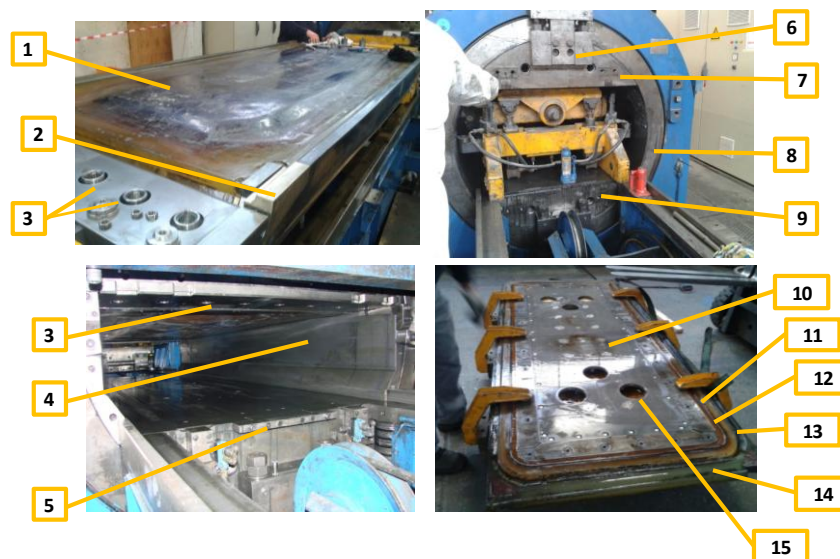
A listagem representa as várias identificações da Figura 3-14.

1. Prato de prensagem
2. Cunha em bronze para protecção da membrana
3. Macacos hidráulicos de elevação e recolha do prato de prensagem
4. Barras laterais da caixa de prensagem

5. Chapas de base da caixa de prensagem, zona onde correm os carros de prensagem
6. Fixação da meia-lua, cilindro e carnagem da prensa. Componente que mantém a estrutura da prensa
7. Meia-lua superior
8. Cilindro maciço que mantém a integridade estrutural da prensa
9. Meia-lua inferior
10. Chapa que mantém a estrutura da membrana e borracha
11. Vedante
12. Membrana
13. Vedante em teflon
14. Borracha de prensagem que protege a membrana de agressões durante o processo de prensagem
15. Zona de entrada de óleo hidráulico para o interior da membrana



**FIGURA 3-13 ILUSTRAÇÃO DA ZONA DE PRENSAGEM DA PRENSA** FONTE: *MANUAL DE MANUTENÇÃO ASEA FLUID CELL PRESS QCF 280-100 (1983)*



**FIGURA 3-14 COMPONENTES CONSTITUINTES DA ZONA DE PRENSAGEM**

### 3.4.2.4 Carros de prensagem

#### 3.4.2.4.1 Sistema de Transporte do Carro de Prensagem

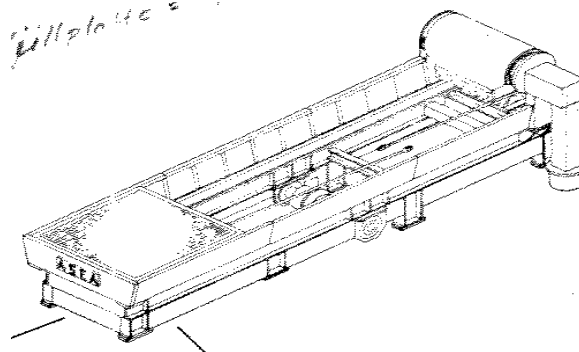


FIGURA 3-15 ILUSTRAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE DO CARRO DE PRENSAGEM FONTE: MANUAL DE MANUTENÇÃO ASEA FLUID CELL PRESS QCF 280-100 (1983)

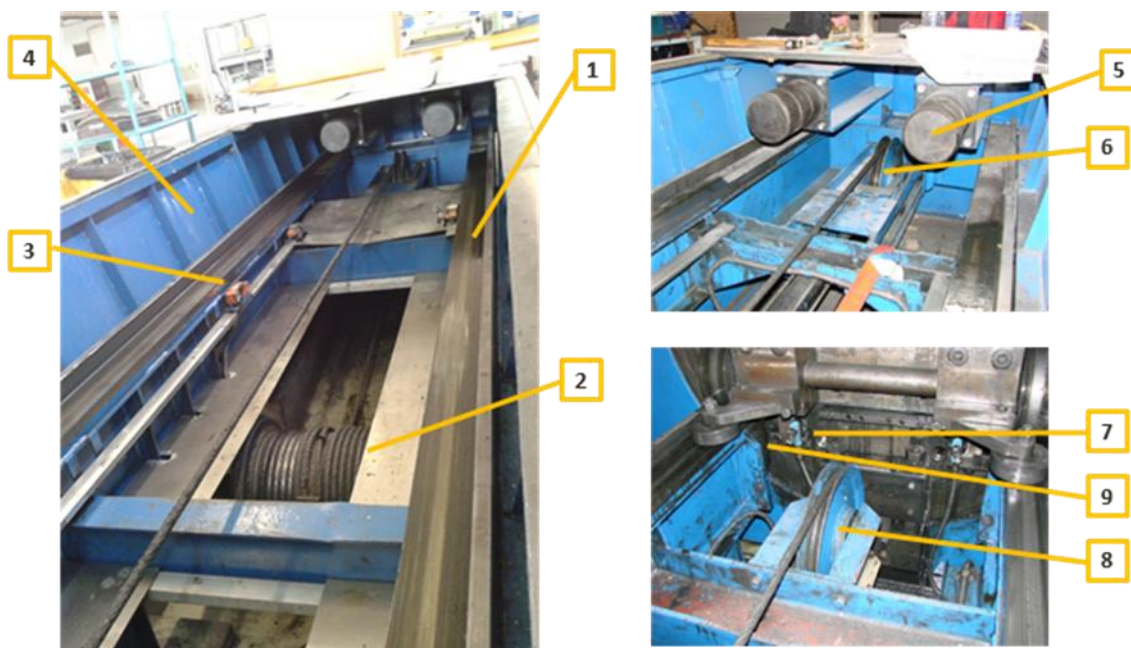


FIGURA 3-16 COMPONENTES CONSTITUINTES DO SISTEMA DE TRANSPORTE

Abaixo encontram-se identificados os componentes que constituem o sistema de transporte.

1. Carril
2. Enrolador de accionamento de direcção
3. Sensor de posição do carro (4)
4. Protecções mecânicas
5. Batentes
6. Roldana para remoção do carro do interior da prensa
7. Sensor de localização do carro (2)
8. Roldana para puxar o carro para o interior da prensa
9. Anilhas para alinhamento do carril à prensa

### 3.4.2.4.2 Carro de Prensagem



FIGURA 3-17 ILUSTRAÇÃO DO CARRO DE Prensagem FONTE: MANUAL DE MANUTENÇÃO ASEA FLUID CELL PRESS QCF 280-100 (1983)

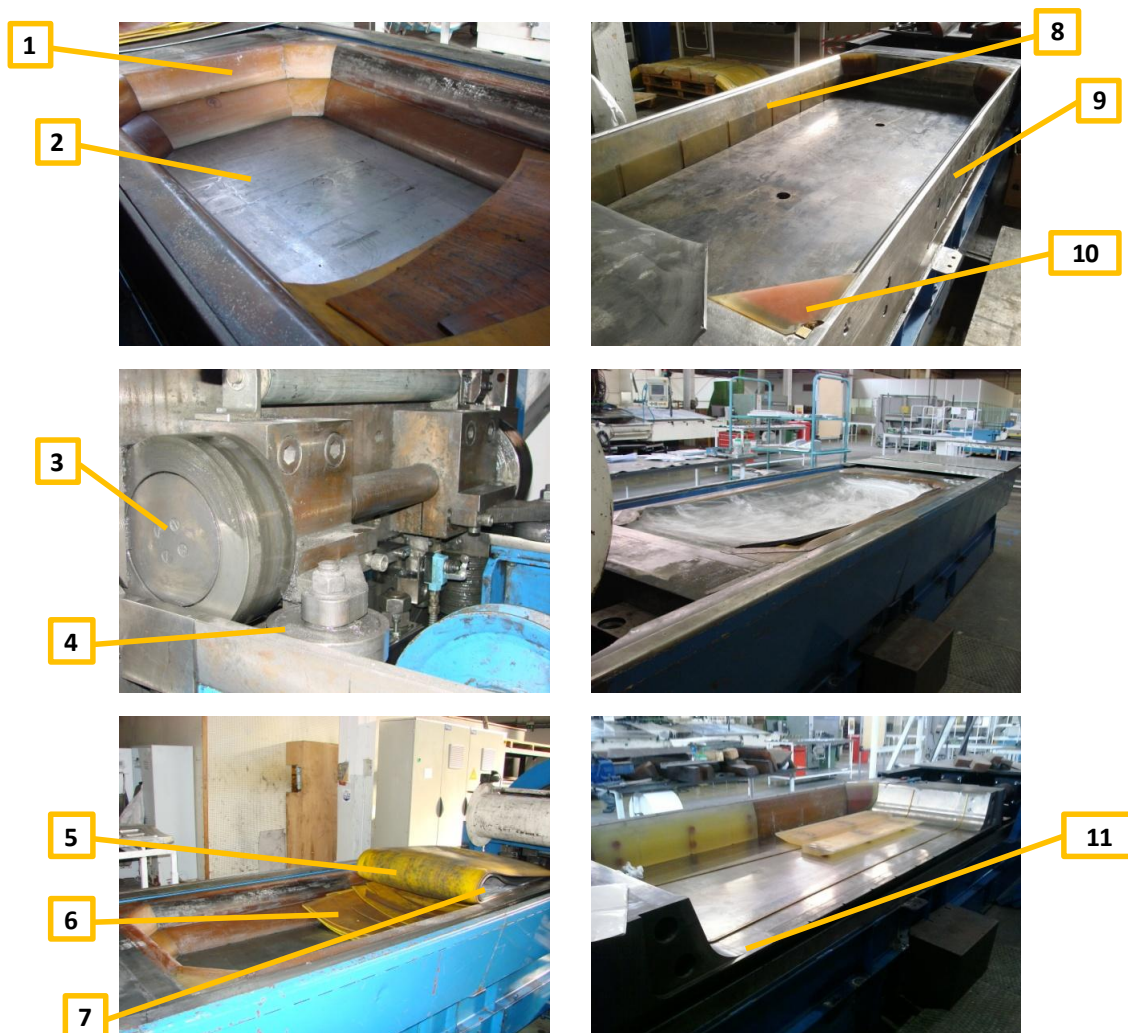


FIGURA 3-18 COMPONENTES CONSTITUINTES DO CARRO DE Prensagem

E finalmente, encontram-se descritos os vários componentes do carro de prensagem.

1. Protecções laterais em poliuretano
2. Fundo do carro de prensagem
3. Rodas de translação do carro
4. Rodas guia do movimento de translação do carro
5. Protecção de borracha
6. Borrachas de enchimento das zonas “mortas” na zona de prensagem
7. Tapete de protecção (borracha de elevada resistência e flexibilidade)
8. Protecções das chapas estruturais do carro
9. Chapas laterais
10. Cantos de protecção em poliuretano
11. Estrutura do carro de prensagem

#### **3.4.2.5 Sistema de arrefecimento**

O sistema de arrefecimento da prensa é garantido através de um circuito de água, arrefecido através de uma torre de arrefecimento. Quando a prensa inicia o seu funcionamento, a válvula de entrada de água abre-se imediatamente e é admitida água ao circuito de arrefecimento.

A água fica disponível à saída do permutador, e assim que se inicia a operação em prensagem, a válvula termostática abre gradualmente, à medida que a temperatura do óleo começa a aumentar. Trata-se de uma válvula proporcional que abre consoante o aumento de temperatura.

O sistema de arrefecimento do óleo é essencial, uma vez que existe um sobreaquecimento do circuito hidráulico, devido a todo o trabalho executado nas bombas, para o aumento da pressão hidráulica e todo o atrito que é gerado pela circulação do óleo, nos vários componentes da prensa.

Uma vez que a torre de arrefecimento é comum a outros equipamentos existentes na Chaparia, neste trabalho não é efectuada a análise FMEA deste equipamento de apoio, contudo, aborda-se o sistema de arrefecimento integrante da prensa.

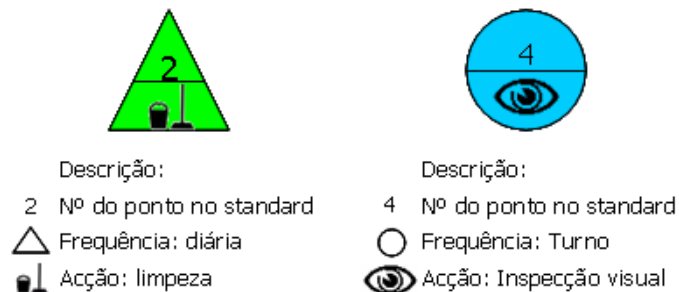
#### **3.4.3 Tipo de Manutenção**

A prensa possui vários tipos de manutenção, nas subsecções seguintes encontram-se descritos os vários tipos de manutenção efectuados ao equipamento.

##### **3.4.3.1 TPM – Total Productive Maintenance**










Plano de manutenção implementado no âmbito do TPM, que é desenvolvido pelos próprios operadores. São acções de limpeza, inspecção e lubrificação que se encontram identificadas na própria máquina.

Existe também um sistema de codificação, que permite aos operadores identificarem quais as operações a efectuar e quais a sua periodicidade. Esta codificação é bastante expedita e permite, de uma forma rápida e eficaz, informar ao operador quais as actividades de manutenção que deverá colocar em prática, conforme se pode verificar no exemplo da Figura 3-19.



**FIGURA 3-19 TIPOS DE SINALIZAÇÃO VISUAL DA FERRAMENTA TPM**

Na Figura 3-20 encontram-se descritos os vários tipos de simbologia e o respectivo significado.

		
Ponto de bloqueio	Acção de Limpeza	Acção de inspeção visual
		
Acção de substituição	Acção de lubrificação	
		
Frequência mensal	Frequência semanal	Frequência diária
		
Turno		

**FIGURA 3-20 DESCRIÇÃO DA SIMBOLOGIA VISUAL**

Na Figura 3-21 verifica-se, a título exemplificativo, o aspecto na sinalização visual no âmbito da ferramenta TPM. Conforme se pode constatar, a sinalização é facilmente identificável e perceptível de qual a acção a realizar. Neste caso, tem-se o número do ponto no *Standard* TPM e a respectiva acção de limpeza.

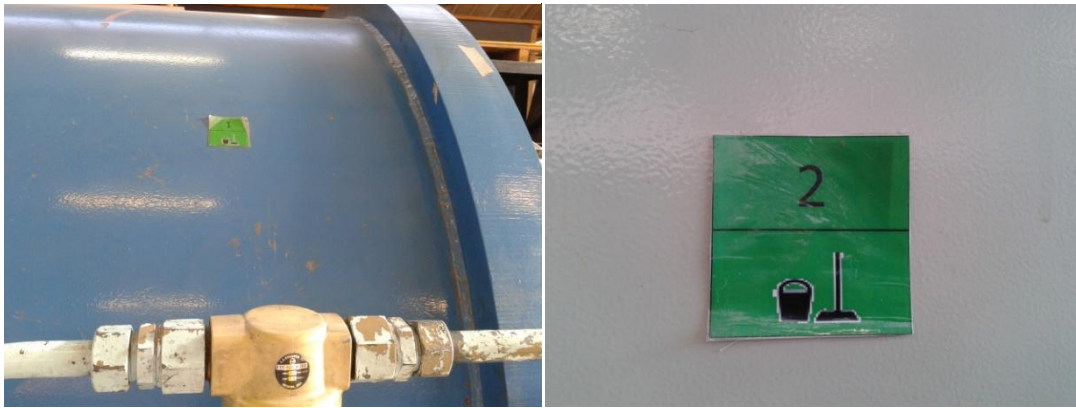


FIGURA 3-21 EXEMPLO DE SINALIZAÇÃO VISUAL NA PRENSA HIDRÁULICA

Conforme referido anteriormente, o equipamento possui o quadro resumo de *Standard* de manutenção TPM a ser realizada pelos operadores. Neste quadro estão descritas de forma resumida as várias acções de limpeza, lubrificação e inspecção que devem ser efectuadas antes ou depois da utilização da máquina, tal como representado na Figura 3-22.

TPM Standard de Manutenção Autónoma											
Célula: Compositos I											
Equipamento: Máquina de corte											
Equipa TPM:											
ONS de Referência:											
Data:											
Nº	Localização	Acção de Limpeza	Equipamento necessário:	Tempo	Intervalo			Resp.			
					Turno	Dia	Semana		Mês		
L I M P E Z A	1	Interior cabine de corte da máquina	Limpeza da área de trabalho (prato da máquina e envolvente)	Aspirador, ar comprimido, panos, detergente, solventes, EPFs	constante	X					
	2	Interior cabine de corte cabeça da máquina	Limpeza de excesso de lubrificante - cabeça da máquina	Panos, detergente, solventes, EPFs	5 min.	X					
	3	Interior cabine de corte, parte superior máquina	Limpeza de excesso de lubrificante - porta ferramentas	Panos, detergente, solventes, EPFs	10 min.			X			
	4	Interior/exterior cabine de corte da máquina	Limpeza das paredes interiores/exteriores e pátio	Panos, detergente, solventes, EPFs	1 H				X		
	5	Lateral direita de entrada	Controlador	Panos, detergente, solventes, EPFs	10 min.				X		
I N S P E C Ç Ã O	6	Lado de trás da cabine de corte	Verificação do lubrificante (massa)	Lubrificante tem que estar ao nível	Reportar a liderança em caso de anomalia	1 min.	X				
	7	Lado de trás da cabine de corte	Verificação do nível de água de refrigeração - spual	A água tem que estar ao nível	Reportar a liderança em caso de anomalia	1 min.	X				
	8	Interior/exterior cabine de corte da máquina	Verificação do estado dos folios	Isoentos de rasgos ou danos	Reportar a liderança em caso de anomalia	5 min.	X				
	9	Lateral direita da entrada (controlador), lateral direita/esquerda cabine	Verificação do funcionamento das luzes (int./ext.)	Todas as lâmpadas devem estar operacionais	Reportar a liderança em caso de anomalia	constante	X				
	10	Lado de trás da cabine de corte	Verificação do ar comprimido (int./ext.) - purga	Não pode haver fugas	Reportar a liderança em caso de anomalia, purgar se necessário	1 min.	X				
	11	Exterior do edifício, lado direito do portão	Verificação do estado do filtro da bomba de vácuo (ext.)	Deve estar limpo	Reportar a liderança em caso de anomalia	1 min.	X				
	12	Interior cabine de corte da máquina, lado direito	Verificação do sistema de vácuo	Deve estar 100% operacional	Reportar a liderança em caso de anomalia	5 min.	X				
	13	Interior cabine de corte da máquina, lado direito	Verificação do correcto funcionamento do sistema laser	O alinhamento laser deve estar correcto	Reportar a liderança em caso de anomalia	constante	X				
	14	Para todas as intervenções que impliquem paragem do equipamento (planeadas ou não) é obrigatório bloquear o mesmo.									
	*Para todas as anomalias identificadas onde a intervenção do operador não esteja autorizada, deve ser preenchida uma etiqueta verde junto ao local da anomalia e a mesma deve ficar afixada										

FIGURA 3-22 QUADRO DE STANDARD DE MANUTENÇÃO TPM

### 3.4.3.2 Manutenção preventiva

A máquina possui também um plano de manutenção preventiva com acções mensais, trimestrais e semestrais, que são desenvolvidas pelas equipas de Manutenção Industrial.

Estas acções têm uma abrangência desde os sistemas hidráulicos, sistemas mecânicos, motores, sistemas eléctricos, acções de limpeza, lubrificação e controlo de condição.

A máquina possui ainda um plano de lubrificação que é cumprido em paralelo com os planos de manutenção preventiva.

### 3.5 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Para o cálculo dos indicadores de manutenção do equipamento, foram recolhidos os dados de paragem e tempos de paragem, entre 2010 e 2015. Estes dados foram recolhidos do sistema de gestão de manutenção da OGMA, que conforme referido anteriormente, gere todas as intervenções de Manutenção Industrial.

A título explicativo são apresentados os cálculos exaustivos referentes ao ano de 2010, sendo os resultados dos restantes anos apresentados em tabela e gráfico.

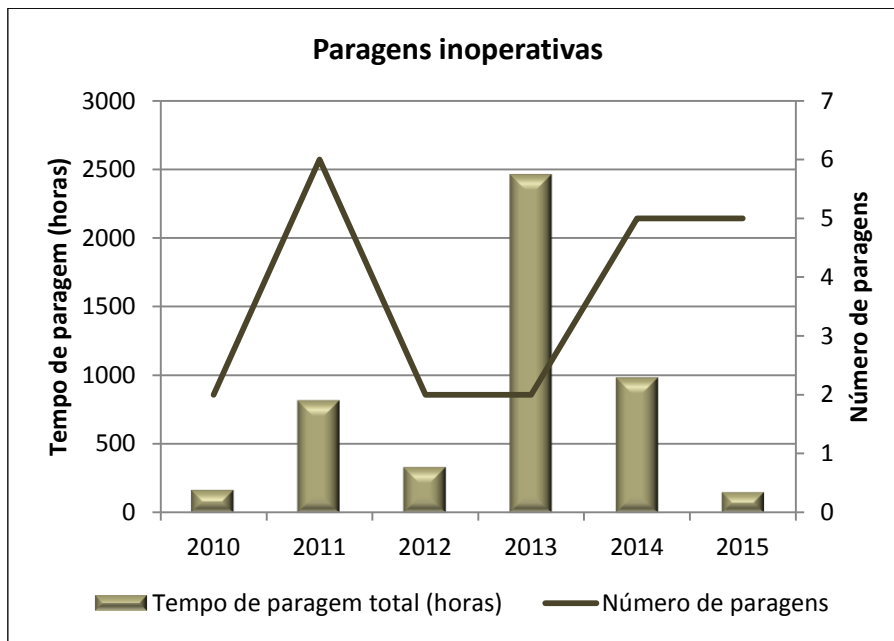
#### 3.5.1 Tempo de indisponibilidade

Na Tabela 3-3 encontram-se resumidos o número de paragens e a respectiva totalidade do tempo de paragem da máquina como inoperativa. O indicador foi calculado através da soma directa das ordens de trabalho, dadas como inoperatividade da máquina.

**TABELA 3-3 - PARAGENS DO EQUIPAMENTO DEVIDO A INOPERATIVIDADE**

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Número de paragens</b>	2	6	2	2	5	5
<b>Tempo de paragem total (horas)</b>	167	818	333	2454	982	152

A Figura 3-23 representa de forma mais visual a evolução das paragens do equipamento devido a inoperatividade entre os anos 2010 e 2015.



**FIGURA 3-23 PARAGENS DO EQUIPAMENTO DEVIDO A INOPERATIVIDADE**

Verifica-se que a máquina apresenta um tempo de paragem considerável, correspondendo ao ano de 2013 com a substituição da membrana, que corresponde a um mês de paragem para intervir.

### 3.5.2 Taxa de disponibilidade

Para o cálculo da taxa de disponibilidade considerou-se um tempo de utilização da máquina 24 horas por dia durante todos os dias no ano (24/TDA). Devido ao elevado ritmo de produção, é exigido que a máquina esteja disponível e operacional a qualquer dia do ano, a qualquer hora. Este tempo é considerado devido à política de produção da Organização.

Taxa de indisponibilidade:

$$\text{Indisponibilidade} = \frac{\sum \text{Tempo de paragem}}{24 * 365} \times 100 \quad (3-1)$$

$$\text{Indisponibilidade (2010)} = \frac{167}{24 * 365} \times 100 = 1,9\%$$

Taxa de disponibilidade:

$$\text{Disponibilidade (2010)} = 100 - 1,9 = 98,1\%$$

**TABELA 3-4 - NÍVEIS DE DISPONIBILIDADE OPERACIONAL DO EQUIPAMENTO**

<b>Indicador</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>Indisponibilidade operacional</b>	1,9%	9,3%	3,8%	28,0%	11,2%	1,7%
<b>Disponibilidade operacional</b>	98,1%	90,7%	96,2%	72,0%	88,8%	98,3%

A Figura 3-24 corresponde à evolução da disponibilidade operacional da prensa hidráulica entre 2010 e 2015. Conforme se pode verificar, a disponibilidade operacional tem uma tendência de descida devido ao próprio envelhecimento do equipamento, após a substituição da membrana foram implementadas algumas medidas preventivas, na tentativa de aumentar a disponibilidade da prensa. Tal verifica-se com o aumento da disponibilidade nos últimos anos.



**FIGURA 3-24 EVOLUÇÃO DA DISPONIBILIDADE OPERACIONAL ENTRE 2010 E 2015**

### **3.5.3 MTTR – Mean Time To Repair**

Para o cálculo do MTTR (mean time to repair) são contabilizadas todas as horas de paragem para a reparação do equipamento, em caso de inoperatividade. A título explicativo, abaixo encontra-se representado o cálculo do MTTR referente ao ano de 2010.

(3-2)

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tempo de reparação}}{\text{Número de paragens para reparação}} \times 100$$

$$MTTR = \frac{167}{2} \times 100 = 83,5\%$$

TABELA 3-5 – RESUMO DOS VALORES DE MTTR ENTRE 2010 E 2015

Indicador	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Número de paragens	2	6	2	2	5	5
Tempo de paragem total (horas)	167	818	333	2454	982	152
MTTR (horas)	83,5	136,3	166,5	1227,0	196,4	30,4

Conforme referido na subsecção do tempo de indisponibilidade, verifica-se em 2013 um MTTR fora dos valores normais da máquina devido à substituição da membrana da prensa hidráulica. Se não se considerar os valores de 2013, verifica-se que a máquina teve uma tendência de subida do número de paragens e mas o tempo de reparação teve uma tendência de descida. Com estes dados, pode afirmar-se que a manutenção está mais rápida na sua reparação.

### 3.5.4 MTBF – Mean Time Between Failures

Para o cálculo do MTBF considerou-se a totalidade de tempo do equipamento disponível para a produção. Assume-se que as avarias se registaram de uma forma independente e estatisticamente distribuídas (IID), pelo que nesse pressuposto se admitiu para todas as análises que se trata de um processo de Poisson, com a taxa de avarias como constante.

À semelhança do cálculo da taxa de disponibilidade, foi considerado um tempo de utilização da máquina 24 horas por dia, durante todos os dias no ano.

A título explicativo, abaixo encontra-se representado o cálculo do MTBF referente ao ano de 2010:

(3-3)

$$MTBF = \frac{\sum \text{Tempo de funcionamento}}{\text{Número de paragens para reparação}}$$

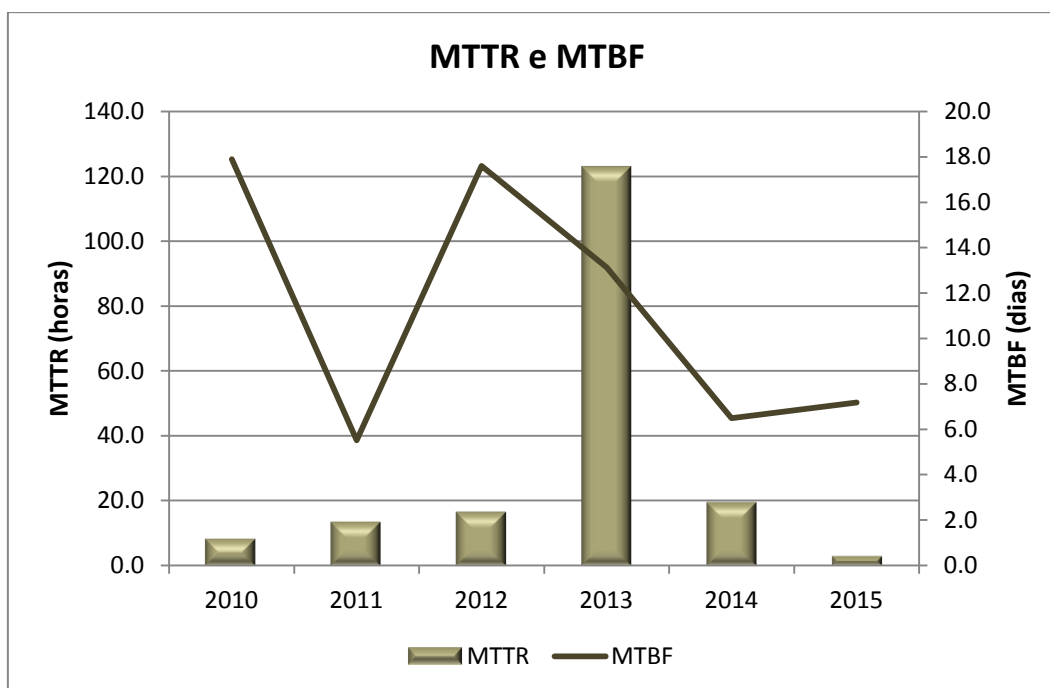
$$MTBF = \left( \frac{(24 \times 365) - 167}{2} \right) = 4296,5 \text{ horas}$$

**TABELA 3-6 – RESUMO DE VALORES DE MTBF ENTRE 2010 E 2015**

<b>Indicador</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>Número de paragens</b>	2	6	2	2	5	5
<b>Tempo de paragem total (horas)</b>	167	818	333	2454	982	152
<b>MTBF (dias)</b>	179,0	55,2	176,1	131,4	64,8	71,7

A Figura 3-25 representa a evolução dos indicadores de MTTR e MTBF entre os anos de 2010 e 2015. Através deste gráfico é possível verificar quais os anos onde se verificaram mais complicações a nível de paragens, sendo indicativo através do valor de MTTR elevado e MTBF de baixo valor.

Apesar dos dois indicadores estarem intimamente ligados, nem sempre quando existem anos em que o valor do MTTR é baixo, consequentemente tem-se o valor do MTBF elevado.



**FIGURA 3-25 EVOLUÇÃO DOS INDICADORES MTTR E MTBF ENTRE 2010 E 2015**

## 4 DESENVOLVIMENTO DO CASO DE ESTUDO

Neste capítulo são apresentadas as implementações e desenvolvimentos das metodologias abordadas anteriormente. Primeiramente será apresentada a implementação da metodologia *Bow-Tie* que permitirá ter uma visão abrangente dos vários modos e efeitos de falha do equipamento. Esta avaliação será utilizada como *input* para um desenvolvimento mais aprofundado pela metodologia FMEA. Finalmente é exposto o desenvolvimento da metodologia AHP, para a hierarquização de implementação de medidas com custo associado.

### 4.1 DESENHO *BOW-TIE*

Para a implementação da metodologia de Bow-Tie foi utilizado o *software Active Bow Tie* Versão 1.7 desenvolvido pela *Risk Support Limited*. Este *software* permitiu, de uma forma rápida e sistemática, a identificação do risco e a avaliação do sistema de gestão de riscos.

O *software* permitiu ainda a avaliação das barreiras primárias e secundárias de controlo, para as ameaças e consequências. Nesta avaliação não foi estudada a informação a este nível uma vez que no subcapítulo seguinte será construído o modelo FMEA.

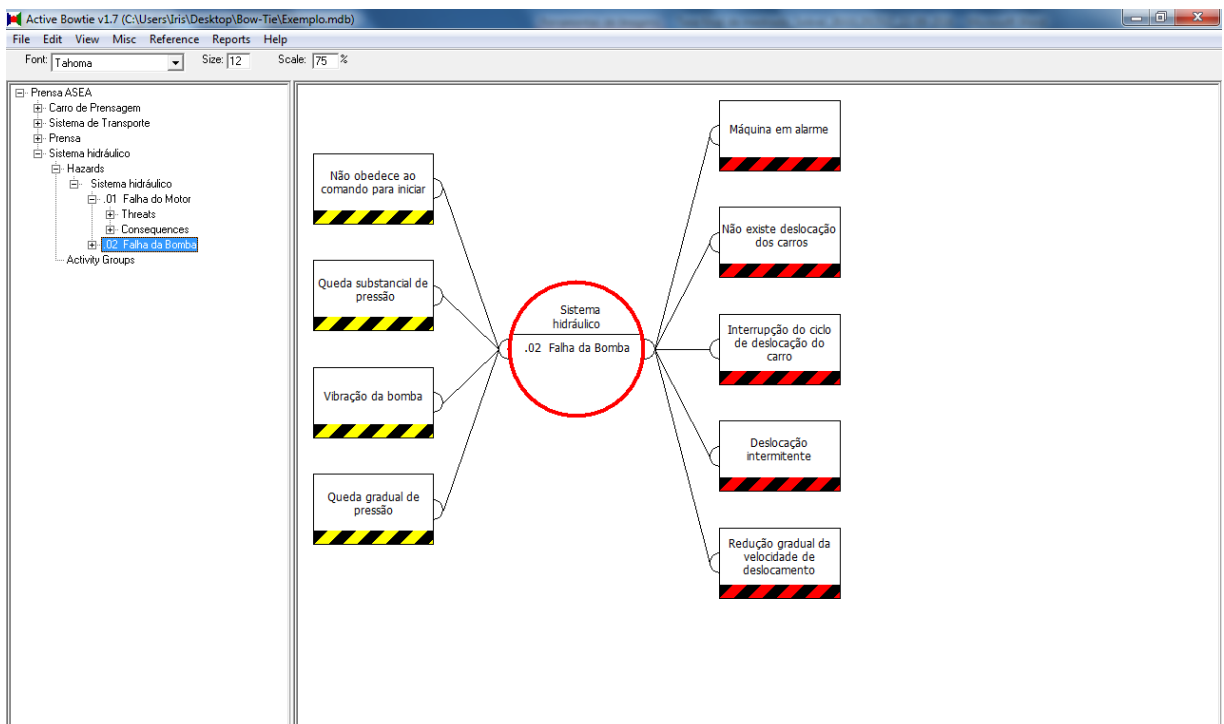
Após o desenho dos diagramas de Bow-Tie, o levantamento das ameaças e consequências foi utilizado para a criação do modelo FMEA, de todos os componentes da prensa hidráulica.

A título exemplificativo, na Figura 4-1 encontra-se demonstrado o desenho de Bow-Tie do motor eléctrico de alimentação de bomba do sistema hidráulico.



**FIGURA 4-1 DIAGRAMA *BOW-TIE* DE MOTOR DA PRENSA HIDRÁULICA**

Na Figura 4-2 encontra-se exemplificado o desenho de Bow-Tie das ameaças e consequências da falha de bomba hidráulica do circuito hidráulico da prensa.



**FIGURA 4-2 DIAGRAMA *BOW-TIE* DE BOMBA DA PRENSA HIDRÁULICA**

## 4.2 IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA

Para a implementação da metodologia FMEA foi analisada toda a documentação, esquemas e manuais da prensa disponíveis, de forma a efectuar uma avaliação de riscos ao equipamento, através da análise de modos de falha e respectivos efeitos. Conforme é comum nas metodologias de análise e avaliação de risco, efectuou-se a análise e sugestão de acções e medidas a serem implementadas, de forma a eliminar ou reduzir o risco inerente a determinado factor. Também neste trabalho foi efectuada a identificação das acções preventivas e/ou correctivas necessárias.

Devido à elevada complexidade da máquina em estudo, optou-se por não se efectuar a análise de modos de falha e efeitos à alimentação eléctrica e sistema de controlo, uma vez que, apesar da sua elevada importância, o foco da prensa está na componente hidráulica e mecânica para a prensagem de peças metálicas.

Durante o desenho dos vários níveis de profundidade de estudo dos componentes da prensa, verificou-se que a análise ficaria demasiado complexa e extensa, caso se optasse por efectuar a análise até ao nível mais baixo de componentes. Como exemplo, o estudo foi aberto apenas até ao nível do motor ou da válvula, não tendo sido avaliado o rotor, estator, veio, ventilação e carcaça. Com esta opção, a metodologia permitiu ter uma visão macro dos vários cenários da prensa, falhar, e quais as consequências para o seu funcionamento.

De forma a não deixar o trabalho incompleto, como trabalho futuro serão efectuadas análises dos modos de falha e efeitos dos vários componentes, com este levantamento, da análise FMEA macro da prensa, remeter-se-á para a análise FMEA do componente em estudo. Com esta opção será possível ter a análise FMEA de componentes que são transversais à Organização, evitando duplicação de trabalho e documentação. A Figura 4-3 exemplifica o esquema de análise dos vários subgrupos de equipamentos.

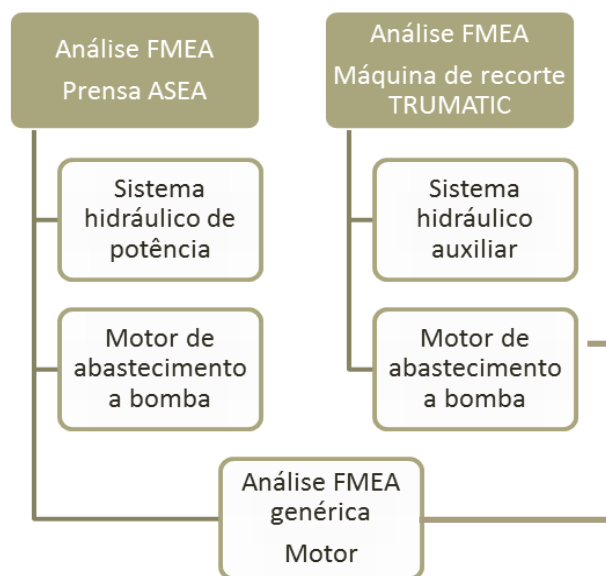


FIGURA 4-3 NÍVEIS DE ANÁLISE FMEA

Para a determinação dos vários índices de ocorrência, severidade e detectabilidade efectuou-se uma avaliação e aplicabilidade dos níveis referidos no Manual de Referência da *Ford Motor* (1988), uma vez que são referidos 10 níveis para cada entrada.

Conclui-se a necessidade de adaptação dos níveis de pontuação dos índices de ocorrência, severidade e detectabilidade, devido à existência reduzida de documentação e registos históricos sobre a máquina. Para a realização da pontuação de grande parte dos modos de falha detectados, foi simplesmente utilizado o conhecimento tácito e a experiência adquirida sobre a máquina ao longo do tempo.

Para a classificação dos níveis de ocorrência reduziu-se de 10 níveis de classificação para 6 níveis, de forma a simplificar a metodologia de avaliação. Por vezes quando as escalas de avaliação têm muitas opções, o avaliador acaba por ter dificuldade na classificação, devido à grande similaridade de escalões. Relativamente à possibilidade de ocorrência, efectuou-se a equivalência para o número de horas de funcionamento da prensa, considerando uma utilização 24 horas por dia em 7 dias por semana. Face ao histórico de avarias, idade do equipamento e MTBF, determinaram-se os vários níveis de ocorrência que se encontram descritos na Tabela 4-1.

**TABELA 4-1 - NÍVEIS DE OCORRÊNCIA ADOPTADOS PARA A ANÁLISE FMEA**

<i>Probabilidade de Ocorrência</i>	<i>Possibilidade de ocorrência</i>	<i>Pontuação</i>
Extremamente alto, a falha é quase inevitável	1 ocorrência por trimestre	10
Falhas repetidas	1 ocorrência por semestre	8
Alto	1 ocorrência por ano	6
Moderado	1 ocorrência em 3 anos	4
Baixo	1 ocorrência em 8 anos	2
Remoto	Quase nunca	1

Para a determinação do nível de consequência, também se reduziu para 6 níveis de classificação, baseando-se na estimativa de perda material, impacto na segurança dos trabalhadores e impacto no meio ambiente. Na Tabela 4-2 encontram-se descritos os níveis utilizados. Apesar da grande importância dos custos de perda da não-produção, devido à elevada complexidade do cálculo destes custos, tendo que se considerar os custos de venda, custos de perda de oportunidade, custos de mão-de-obra parada e penalizações de contrato, este critério não será considerado.

**TABELA 4-2 - NÍVEIS DE CONSEQUÊNCIA ADOPTADOS PARA A ANÁLISE FMEA**

<i>Consequência</i>	<i>Descrição</i>	<i>Segurança Ocupacional</i>	<i>Segurança Ambiental</i>	<i>Perda Material</i>	<i>Pontuação</i>
Extremo	A falha é perigosa, ocorre sem aviso e pára a operação do sistema	Perda humana	Danos irreparáveis para meio ambiente	Perda material da máquina e zonas circundantes	<b>10</b>
Alto	Máquina fica inoperável com a perda de função primária. O sistema fica inoperativo	Acidente com incapacitação total	Danos reparáveis a longo prazo > 10 anos	Perda material total da máquina	<b>8</b>
Significativo	A performance da máquina é degradada, o processo está operável mas com desempenho reduzido	Acidente com incapacitação parcial	Danos reparáveis a médio prazo > 5 anos	Perda parcial de capacidade com impacto significativo	<b>6</b>
Moderado	Máquina operável, mas com nível de conforto baixo. Defeito notado pela maioria dos operadores	Acidente com incapacitação temporária	Danos reparáveis a 1 ano	Perda parcial de capacidade	<b>4</b>
Menor	Máquina conforme mas com defeitos notados pelos operadores mais exigentes	Incidente	Danos reparáveis no imediato	Perda insignificante de capacidade	<b>2</b>
Nenhum	Sem efeito	Sem efeito	Sem efeito	Sem efeito	<b>1</b>

À semelhança dos níveis de ocorrência e severidade, também os níveis de detecção foram adaptados e reduzidos a 6 categorias. Estas categorias foram adaptadas com base na avaliação dos sistemas de protecção e monitorização existentes no equipamento estudado.

**TABELA 4-3 - NÍVEIS DE DETECÇÃO ADOPTADOS PARA A ANÁLISE FMEA**

<i>Detecção</i>	<i>Critério: detecção da ocorrência</i>	<i>Pontuação</i>
Quase impossível	Não é conhecido controlo disponível para detectar o modo de falha.	10
Remota	Probabilidade remota de que o controlo actual irá detectar o modo de falha.	8
Baixa	Probabilidade baixa de que o controlo actual irá detectar o modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o controlo irá detectar um mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	4
Alta	Probabilidade alta de que o controlo actual irá detectar o modo de falha.	2
Quase certa	Controlo actual quase certamente irá detectar o modo de falha. A confiança nos controlos de detecção é conhecida em processos similares.	1

Para facilitar a identificação e controlo visual dos níveis de criticidade dos resultados de RPN, foram implementados 4 níveis: Crítico; Alto; Moderado e Baixo. Com esta metodologia é possível avaliar qual o *status* de prensa; e quais os riscos a serem geridos e avaliados em primeira instância.

Com a distribuição de 4 níveis, considera-se o número de escalões ideal para a análise dos resultados da metodologia FMEA implementada. Considerando-se para um número de escalões inferior, o risco de haver uma perda do rigor na análise e tratamento de cada situação. No caso de um maior número de níveis tal pode levar uma dispersão na análise por parte do avaliador. Tentou-se efectuar uma distribuição e priorização consoante o nível de criticidade da avaliação efectuada. Os níveis foram distribuídos consoante as combinações dos níveis de Ocorrência, Severidade e Detectabilidade, sendo que para o valor obtido foi desenvolvida uma escala consoante a tolerabilidade da presença do risco. A Tabela 4-4, resume a distribuição de níveis RPN pela sua criticidade

**TABELA 4-4 - NÍVEIS DE RPN ADOPTADOS PARA A ANÁLISE FMEA**

Nível RPN	Descrição
<b>Crítico</b> RPN ≥ 480	Requer acção imediata uma vez que está em causa a perda de vida humana, perda total da estrutura e/ou consequências com impacto definitivo no meio ambiente.
<b>Alto</b> RPN ∈ [479;320]	Requer acção e médio prazo de forma a minimizar o impacto na Organização.
<b>Moderado</b> RPN ∈ [319;75]	Requer acção a médio/longo prazo de forma a minimizar a severidade, ocorrência ou aumentar a probabilidade de detecção da anomalia.
<b>Baixo</b> RPN < 75	Sem impacto significativo na Organização, poderão ser implementadas medidas no âmbito da Melhoria Continua.

#### 4.2.1 Apresentação de resultados da avaliação FMEA

A presente secção tem como objectivo apresentar e comentar os resultados obtidos da análise FMEA à prensa hidráulica.

Sistema	Subsistema	Componente	Função	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causa de falha	Ocorrência O	Severidade S	Detect.* D	RPN		
Sistema hidráulico	Motor M3		Alimentação da bomba P3	Não existe a possibilidade de arrefecimento das bobines	Sobreaquecimento	Anomalia na ventilação Aglomerção de sujidade na carcaça do equipamento	8	4	4	128		
				Aumento do esforço do motor	Sobreaquecimento	Rolamentos com desgaste Bomba desequilibrada Acoplamentos de ligação à bomba com desgaste	4	4	6	96		
				Rotor entra em contacto com a bobinagem	Curto-circuito na bobinagem	Caixa dos rolamentos com desgaste	6	8	6	288		
				Desiquilíbrio nas correntes das bobinagens	Sobrecarga da bobinagem	Desapertos nas ligações eléctricas	8	8	4	256		
				Relé térmico sempre aberto	Queima da bobinagem	Afinações incorrectas Perda de características do material	4	8	8	256		
				Termístor em avaria	Queima da bobinagem	Quebra dos contactos	4	8	8	256		
	Bomba P3	Accionamento do motor hidráulico HM1		Accionamento do motor hidráulico HM1	Não obedece ao comando para iniciar	Máquina em alarme	Elementos com desgaste	4	8	6	192	
						Motor hidráulico HM1 não é accionado	Falta de lubrificação Gripagem dos elementos internos Óleo contaminado	4	8	6	192	
					Queda substancial de pressão	Motor hidráulico HM1 não consegue atingir a pressão de funcionamento	Vedantes e juntas deterioradas Desiquilíbrio das partes rotativas	4	8	6	192	
					Vibração da bomba	Funcionamento do motor hidráulico HM1 de forma intermitente	Tubagem de alimentação não se encontra totalmente cheia de óleo	4	6	4	96	
					Queda gradual de pressão	Redução gradual da pressão hidráulica de trabalho do motor HM1	Vedantes e juntas deterioradas Elementos com desgaste permitindo a recirculação de óleo	6	4	4	96	
		Alimentação do estágio de alta pressão			Alimentação do estágio de alta pressão	Não obedece ao comando para iniciar	Máquina em alarme	Elementos com desgaste	4	8	6	192
							Não se atinge o estágio de alta pressão	Falta de lubrificação Gripagem dos elementos internos Óleo contaminado	4	8	6	192
						Queda substancial de pressão	Interrupção do ciclo de alta pressão	Vedantes e juntas deterioradas	4	8	6	192
						Vibração da bomba	Quedas constantes na pressão durante a prensagem	Tubagem de alimentação não se encontra totalmente cheia de óleo	4	6	2	48
						Queda gradual de pressão	Redução gradual da pressão hidráulica durante a prensagem	Vedantes e juntas deterioradas Elementos com desgaste permitindo a recirculação de óleo	6	6	2	72

Sistema	Subsistema	Componente	Função	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causa de falha	Ocorrência O	Severidade S	Detect.* D	RPN
Sistema hidráulico	Motor M2		Alimentação das bombas P2A e P2B	Não existe a possibilidade de arrefecimento das bobinas	Sobreaquecimento	Anomalia na ventilação Aglomerção de sujidade na carcaça do equipamento	8	4	2	64
				Aumento do esforço do motor	Sobreaquecimento	Rolamentos com desgaste Bomba desequilibrada Acoplamentos de ligação à bomba com desgaste	4	4	6	96
				Rotor entra em contacto com a bobinagem	Curto-circuito na bobinagem	Caixa dos rolamentos com desgaste	6	8	6	288
				Desiquilíbrio nas correntes das bobinagens	Sobrecarga da bobinagem	Desapertos nas ligações eléctricas	8	8	4	256
				Relé térmico sempre aberto	Queima da bobinagem	Afinações incorrectas Perda de características do material	4	8	8	256
				Termistor em avaria	Queima da bobinagem	Quebra dos contactos	4	8	8	256
	Bomba P2A		Deslocamento do Carro A e B	Não obedece ao comando para iniciar	Máquina em alarme	Elementos com desgaste	8	6	2	96
					Não existe deslocação dos carros	Falta de lubrificação	8	6	2	96
				Queda substancial de pressão	Interrupção do ciclo de deslocação dos carros	Gripagem dos elementos internos Óleo contaminado	4	6	2	48
				Vibração da bomba	Deslocação dos carros intermitente	Tubagem de alimentação não se encontra totalmente cheia de óleo	4	4	2	32
				Queda gradual de pressão	Redução gradual da velocidade de deslocação dos carros	Vedantes e juntas deterioradas Elementos com desgaste permitindo a recirculação de óleo	4	2	2	16
	Bomba P2B		Rotação dos Tabores A e B	Não obedece ao comando para iniciar	Máquina em alarme	Elementos com desgaste	8	4	2	64
					Não existe rotação dos tambores	Falta de lubrificação	8	4	2	64
				Queda substancial de pressão	Interrupção do ciclo de rotação dos tambores	Gripagem dos elementos internos Óleo contaminado	4	4	2	32
				Vibração da bomba	Rotação dos tambores intermitente	Tubagem de alimentação não se encontra totalmente cheia de óleo	4	4	2	32
				Queda gradual de pressão	Redução gradual da velocidade de rotação dos tambores	Vedantes e juntas deterioradas Elementos com desgaste permitindo a recirculação de óleo	4	2	2	16
	Bloco de válvulas de movimentação de carros		Movimentação dos carros	Válvula com fuga	Fuga de óleo	Vedantes deteriorados	8	6	2	96
					Pressão residual no circuito	Elementos com desgaste	8	6	2	96
				Válvula colada em modo aberto	Deslocação dos carros não é interrompida	Desgaste de elementos Falha de alimentação eléctrica Falta de lubrificação Falência de componentes	6	6	6	216
				Válvula colada em modo fechado	Deslocação do carro não é iniciada	Desgaste de elementos Falta de lubrificação	6	6	6	216
				Válvula permanentemente em modo aberto	Deslocação dos carros não é interrompida	Falha de alimentação eléctrica	4	6	6	144
				Válvula permanentemente em modo fechado	Deslocação do carro não é iniciada		4	6	6	144
				Falha no comando de abertura/fecho da válvula	Ordem de inicio de deslocação não é atendida	Interrupção da cablagem de sinal de comando	4	6	4	96

Sistema	Subsistema	Componente	Função	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causa de falha	Ocorrência O	Severidade S	Detect.* D	RPN
Sistema hidráulico	Bloco de válvulas de enchimento da prensa		Enchimento da prensa	Falha no comando de abertura/fecho da válvula	Ordem de início de enchimento não é atendida	Interrupção da cablagem de sinal de comando	4	8	4	128
	Depósito de óleo	Armazenamento de óleo do circuito	Depósito com ruptura	Fuga de óleo	Corrosão nas paredes e fundo do depósito	4	8	4	128	
			Existência de impurezas no depósito	Obstrução de saída de depósito		8	8	4	256	
			Obstrução de retorno ao depósito	Ausência de alimentação de óleo ao circuito		8	8	6	384	
	Motor hidráulico HM1		Alimentação da Bomba P5	Não obedece ao comando para iniciar	Máquina em alarme	Elementos com desgaste Falta de lubrificação Gripagem dos elementos internos	4	8	6	192
					Não existe o accionamento da bomba P5		4	8	6	192
				Queda substancial de pressão	Funcionamento da bomba P5 é interrompido	Óleo contaminado Vedantes e juntas deterioradas	4	8	6	192
				Vibração da bomba	Bomba P5 tem um funcionamento de forma pulsada	Tubagem de alimentação não se encontra totalmente cheia de óleo Existência de ar no circuito hidráulico	4	8	4	128
	Bomba P5		Enchimento/Vazamento de óleo na membrana	Não obedece ao comando para iniciar	Máquina em alarme	Elementos com desgaste Falta de lubrificação Gripagem dos elementos internos Óleo contaminado	4	8	6	192
							Não existe o enchimento/aspiração da membrana	4	8	6
				Queda substancial de pressão	Interrupção do ciclo de enchimento da membrana	Vedantes e juntas deterioradas Desequilíbrio das partes rotativas	4	8	6	192
				Vibração da bomba	Enchimento/Aspiração da membrana de forma pulsada	Tubagem de alimentação não se encontra totalmente cheia de óleo Existência de ar no circuito hidráulico	4	6	2	48
				Queda gradual de pressão	Aumento no tempo de enchimento/aspiração total da membrana	Vedantes e juntas deterioradas Elementos com desgaste permitindo a recirculação de óleo	6	6	2	72
	Permutador água-óleo		Refrigeração do óleo	Falha de funcionamento da torre de arrefecimento	Sobreaquecimento do circuito hidráulico	Falha de alimentação eléctrica Falha na ordem de comando de início da torre de arrefecimento Falha nas bombas do circuito de arrefecimento	6	8	2	96
							Existência de calcinações e/ou incrustações de corrosão devido à ausência de tratamento da água do circuito	4	8	8
				Obstrução de entrada de água no permutador	Contaminação do circuito hidráulico com água	Corrosão das paredes do permutador	2	6	6	72
	Bomba P7		Regulação de velocidade lenta do HM1	Não obedece ao comando para iniciar	Máquina em alarme	Elementos com desgaste Falta de lubrificação Gripagem dos elementos internos Óleo contaminado Vedantes e juntas deterioradas	6	8	8	384
							Queda substancial de pressão	Não se inicia qualquer ciclo (deslocação de carros, rotação de tambores, enchimento da membrana ou estágio de alta pressão)	Desequilíbrio das partes rotativas Desalinhamento Falta de abastecimento de óleo	6

Sistema	Subsistema	Componente	Função	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causa de falha	Ocorrência O	Severidade S	Detect.* D	RPN
Sistema hidráulico	Bomba P7		Regulação de velocidade lenta do HM1	Vibração da bomba	Não se atingem as pressões necessárias aos restantes ciclos	Tubagem de alimentação não se encontra totalmente cheia de óleo	4	8	4	128
				Queda gradual de pressão	Poderão não se atingir as pressões necessárias aos restantes ciclos	Vedantes e juntas deterioradas Elementos com desgaste permitindo a recirculação de óleo	6	6	8	288
	Motor M5		Motor de alimentação da bomba P7	Não existe a possibilidade de arrefecimento das bobines	Sobreaquecimento	Anomalia na ventilação Aglomeração de sujidade na carcaça do equipamento	8	4	4	128
				Aumento do esforço do motor	Sobreaquecimento	Rolamentos com desgaste Bomba desequilibrada Acoplamentos de ligação à bomba com desgaste	4	4	6	96
				Rotor entra em contacto com a bobinagem	Curto-circuito na bobinagem	Caixa dos rolamentos com desgaste	6	8	6	288
				Desiquilíbrio nas correntes das bobinagens	Sobrecarga da bobinagem	Desapertos nas ligações eléctricas	8	8	4	256
				Relé térmico sempre aberto	Queima da bobinagem	Afinações incorrectas Perda de características do material	4	8	8	256
				Termistor em avaria	Queima da bobinagem	Quebra dos contactos	4	8	8	256
				Obstrução da passagem de óleo	Ausência de caudal	Filtro colmatado	8	8	8	512
	Filtro de óleo		Filtragem de partículas e impurezas no circuito	Caudal insuficiente			8	8	8	512
				Libertação de partículas para o circuito hidráulico	Contaminação do circuito hidráulico	Filtro degradado	6	6	4	144
	Bomba P1		Aspiração rápida do óleo do depósito para o circuito de bombagem	Máquina em alarme		Elementos com desgaste	4	10	8	320
				Não obedece ao comando para iniciar	Sequencia de accionamento das bombas P2A, P2B, P3 e P5 não é iniciada	Falta de lubrificação Gripagem dos elementos internos Óleo contaminado	8	10	4	320
				Queda substancial de pressão	Não se consegue iniciar qualquer ciclo de deslocação dos carros e tambores ou o início do ciclo da bomba P5	Vedantes e juntas deterioradas Desiquilíbrio das partes rotativas Desalinhamento Falta de abastecimento de óleo	8	10	4	320
				Vibração da bomba	Alimentação de óleo aos circuitos subsequentes de forma pulsada ou intermitente	Tubagem de alimentação não se encontra totalmente cheia de óleo Existência de ar no circuito hidráulico	6	8	8	384
				Queda gradual de pressão	Não se consegue atingir a pressão necessária para que os ciclos de P2A, P2B, P3 ou P5 se iniciem	Vedantes e juntas deterioradas Elementos com desgaste permitindo a recirculação de óleo	4	10	8	320
	Motor M1		Alimentação da bomba P1	Não existe a possibilidade de arrefecimento das bobines	Sobreaquecimento	Anomalia na ventilação Aglomeração de sujidade na carcaça do equipamento	8	4	2	64
				Aumento do esforço do motor	Sobreaquecimento	Rolamentos com desgaste Bomba desequilibrada Acoplamentos de ligação à bomba com desgaste	4	4	4	64
				Rotor entra em contacto com a bobinagem	Curto-circuito na bobinagem	Caixa dos rolamentos com desgaste	4	8	6	192
				Desiquilíbrio nas correntes das bobinagens	Sobrecarga da bobinagem	Desapertos nas ligações eléctricas	4	8	4	128
				Relé térmico sempre aberto	Queima da bobinagem	Afinações incorrectas Perda de características do material	4	8	8	256
				Termistor em avaria	Queima da bobinagem	Quebra dos contactos	4	8	8	256

Sistema	Subsistema	Componente	Função	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causa de falha	Ocorrência O	Severidade S	Detect.* D	RPN		
Sistema hidráulico	Pressostato		Paragem ou arranque das bombas, envio de sinal de pressões de trabalho	Não existe sinal de arranque da bomba	Falta de pressão no circuito	Elemento móvel danificado	8	8	4	256		
				Indicação errada de pressão alta	Pressão de trabalho não é atingida	Desregulação do pressostato	8	8	4	256		
				Indicação errada de pressão baixa	Sobreesforço da bomba e motor	Pressostato colado	4	6	2	48		
	Manómetro		Indicação local das pressões nos vários pontos do circuito	Indicação de pressão errada	Informação errada de pressão ao operador	Sujidades no sistema	4	8	2	64		
				Falta de indicação de pressão		Desregulação do sistema de medição	4	2	6	48		
	Tubagem de condução	Tubagem	Condução do fluido	Ruptura da tubagem	Fuga de óleo	Membrana danificada	4	2	6	48		
				Folgas na ligação de tubagens e componentes		Sobreesforço	Membrana danificada	4	2	6	48	
				Corrosão da tubagem	Fuga de óleo	Sobreesforço	4	6	2	48		
		Vedantes e Juntas	Vedação o fluido no circuito		Obstrução por deformação	Ausência de circulação de óleo no circuito	Aperto insuficiente durante operações de manutenção	6	4	6	144	
					Obstrução por materiais no circuito		Degradação do material	Golpes de pressão durante ciclos de prensagem	8	6	6	288
					Ruptura de material	Fuga de óleo	Embate na tubagem	6	8	2	96	
					Libertação de partículas para o circuito hidráulico	Entupimento do circuito hidráulico	Existência de partículas contaminantes no circuito	8	6	6	288	
	Válvula de alívio		Limitar pressão a níveis de segurança para a instalação	Opera abaixo da pressão máxima	Válvula abre constantemente, sendo impossível atingir a pressão de trabalho	Material deteriorado	6	4	6	144		
				Não alivia a pressão	Ruptura/colapso do circuito por sobrepresão	Perda de características da mola	4	6	8	192		
	Electroválvula de condução		Condução do fluido	Valvula indevidamente aberta	Circuito incorrecto do óleo (accionamento incorrecto de componentes)	Válvula mal regulada	4	8	6	192		
				Valvula indevidamente fechada		Falta de sinal de chegada à válvula	Válvula colada	4	8	6	192	
	Prensa	Cilindro prensa	Meia lua	Passagem da conformação cilíndrica para a	Sobrepresão	Aparecimento de zonas fracturadas ou com fissuras	Perda de características da mola	4	6	8	192	
					Propagação de fractura		Falência do material	4	6	8	192	
			Chapas em cunha	Eliminação de folgas nos topos da prensa		Engelhamento da chapa	Resistência à entrada do carro de prensagem	Instalação incorrecta	6	6	8	288
						Desgaste da meia lua	Fusão da meia lua à prensa	Utilização de colas de elevada dureza	2	4	8	64
			Fio de bronze	Redução da fricção aço/aço	Degradação do selante	Desgaste da parede do cilindro		Falência do material	2	8	8	128
Fusão da meia lua à prensa						Instalação incorrecta		2	8	8	128	
Fixação de meia lua			Fixação das meias luas à estrutura da prensa		Propagação de fractura	Estrutura deixa de suportar a meia lua à prensa	Meia lua com tendência a descair	Falência do material	4	6	6	144
					Desgaste das furações utilizadas para o aperto			Falência dos parafusos de aperto	6	8	6	288
					Desgaste dos parafusos de fixação da estrutura à meia lua			Folga nos parafusos de aperto	6	4	4	96
					Estrutura mal apertada à meia lua							

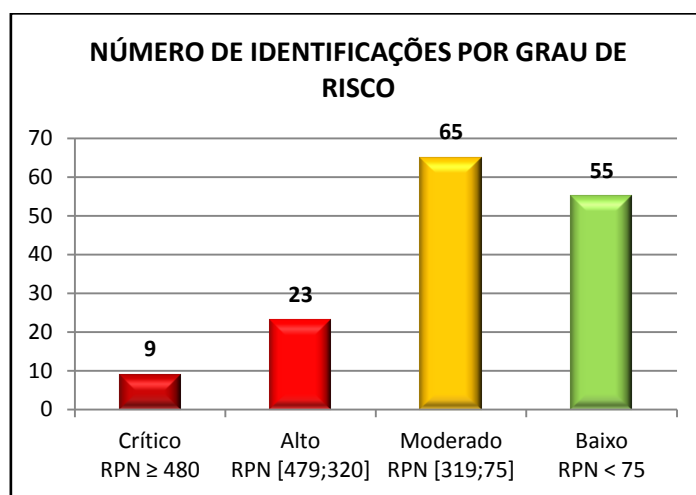
Sistema	Subsistema	Componente	Função	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causa de falha	Ocorrência O	Severidade S	Detect.* D	RPN
Prensa	Cilindro prensa	Macacos hidráulicos	Elevação/descida do prato de prensagem em ciclo de entrada ou prensagem do carro	Fuga no circuito de compressão	Estrutura da prensa não sobe o suficiente para o carro sair	Deterioração dos vedantes	8	8	6	384
				Fuga no circuito de compressão	Estrutura da prensa não desce o suficiente para a realização do ciclo de prensagem		8	6	6	288
				Macaco preso em modo aberto	Macaco não recolhe para a passagem do carro	Falta de lubrificação	4	8	6	192
				Macaco preso em modo fechado	Macaco não baixa o prato da prensa para o ciclo de prensagem		4	8	6	192
				Existência de fissuras ou marcas na sede do macaco	Perda de curso de elevação	Perda de características do material Desalinhamento do macaco Partículas agarradas às parades do macaco	8	6	6	288
		Barras laterais	Protecção da zona de prensagem	Existência de deformações/fissuras	Ressaltos na passagem do carro de prensagem	Desgaste do material	2	4	8	64
				Barras com sujidade		Existência de partículas contaminantes	2	6	4	48
		Chapas de base	Protecção da zona de prensagem	Existência de deformações/fissuras	Ressaltos na passagem do carro de prensagem	Desgaste do material	2	4	8	64
				Barras com sujidade		Existência de partículas contaminantes	2	6	4	48
		Cilindro maciço	Suporte de pressões elevadas de trabalho	Propagação de fractura	Colapso da estrutura	Falência do material	2	10	8	160
	Prato prensagem	Chapa em aço	Suporte do prato de prensagem	Existência de deformações/fissuras	Colapso da estrutura	Falência do material	2	10	8	160
		Chapa perfurada	Integridade da membrana e borracha	Existência de deformações/fissuras	Perda de integridade da membrana de prensagem	Falência do material	6	10	8	480
		Membrana	Diafragma de contenção do óleo em pressão	Sobrepresão	Ruptura da membrana	Falta de controlo no estágio de alta pressão	2	10	4	80
				Fim de ciclo de vida		Falência do material	6	10	10	600
				Perfuração accidental		Existência de arestas cortantes ou objectos perfurantes	6	10	10	600
				Perda de características do material	Ruptura da membrana Dificuldade em atingir os objectivos de prensagem	Sobreaquecimento	2	8	10	160
				Material "pasmado"	Dificuldade em atingir os objectivos de prensagem	Perda de características do material	6	10	10	600
		Borracha	Diafragma de protecção da membrana	Sobrepresão	Ruptura da membrana	Falta de controlo no estágio de alta pressão	2	10	4	80
				Fim de ciclo de vida		Falência do material	6	10	10	600
				Perfuração accidental		Existência de arestas cortantes ou objectos perfurantes	6	10	10	600
				Perda de características do material	Ruptura da membrana Dificuldade em atingir os objectivos de prensagem	Sobreaquecimento	2	8	10	160
				Material "pasmado"	Dificuldade em atingir os objectivos de prensagem	Perda de características do material	6	10	10	600
		Vedante	Vedação o fluido no circuito	Ruptura de material	Ponto de extrusão da membrana Fuga de óleo	Material deteriorado	4	8	10	320
Libertação de partículas para o circuito hidráulico	Entupimento do circuito hidráulico			4	6		10	240		

Sistema	Subsistema	Componente	Função	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causa de falha	Ocorrência O	Severidade S	Detect.* D	RPN				
Prensa	Prato prensagem	Vedante em teflon	Vedação o fluido no circuito	Ruptura de material	Ponto de extrusão da membrana Fuga de óleo	Material deteriorado	4	8	10	320				
				Libertação de partículas para o circuito hidráulico	Entupimento do circuito hidráulico		4	6	10	240				
		Cunhas bronze	Redução da fricção aço/aço	Ocorrência de zonas perfurantes	Ruptura da membrana	Falência do material Instalação incorrecta	4	8	8	256				
				Degradação da cunha	Fusão do prato de prensagem ao cilindro da prensa		1	10	10	100				
				Libertação de partículas para o circuito hidráulico	Entupimento do circuito hidráulico		6	6	6	216				
				Degradação da cunha	Empeno da estrutura do prato de prensagem		4	6	8	192				
		Friso selante	Redução da fricção aço/aço	Degradação do selante	Desgaste da meia lua	Falência do material Instalação incorrecta	4	6	8	192				
					Desgaste da parede do cilindro		4	6	8	192				
					Fusão da meia lua à prensa		1	10	8	80				
		Injectores de lubrificação	Redução da fricção entre as duas membranas	Não existe a injeção de massa lubrificante entre as duas membranas	Falha na lubrificação entre membranas	Entupimento dos canais de lubrificação Deslocação do canal de lubrificação Falência do material por pressão elevada	8	8	6	384				
Degradação do material	Libertação de partículas para o espaço entre membranas			Falência do material por excesso de pressão	6	8	8	384						
Sistema de transporte	Sistema de detecção	Sensor de posição (Microswitch)	Detecção da posição do carro durante o movimento de translação	Quebra da haste de actuação do sensor	Informação errada no controlador	Falência do material	4	4	6	96				
				Sinal do sensor não chega ao controlador		Desapertos nas ligações eléctricas	6	4	4	96				
				Sinal do sensor não é actualizado		Fim de vida útil	2	4	8	64				
				Haste sempre na posição de fechado		Sujidade	8	4	4	128				
				Haste sempre na posição de aberto		Perda de características do material	8	4	4	128				
	Sistema de movimentação	Tambor enrolador	Recolha do tapete de protecção	Dificuldade no enrolamento do tambor	Dificuldade no enrolamento do tambor	Existência de sujidade	4	4	2	32				
				Prisão durante a rotação do tambor		Desgaste dos rolamentos	4	4	2	32				
				Tambor não roda		Não existe o enrolamento do tapete	Obstrução do circuito hidráulico	4	4	2	32			
		Carril	Guiamento/suporte do carro durante translação	Exsitência de irregularidades na superfície do carril	Deslocação intermitente ou com ressaltos	Desgaste do material Existência de sujidade	10	4	2	80				
						Roldana	Accionamento do sentido de translação	Cabo de aço sai da guia da roldana	Movimentação do carro não ocorre	Desgaste do material Existência de sujidade	2	4	4	32
								Prisão durante a rotação da roldana	Dificuldade na movimentação do carro	Desgaste dos rolamentos	4	4	6	96
						Anilhas	Alinhamento da entrada do carro com a altura da	Material com fissuras Perda de altura das anilhas	Perda de alinhamento de entrada de carro para o interior da prensa	Falência do material	2	4	6	48
										Perda de características do material	2	4	6	48
						Cabo de aço	Translação do carro	Ruptura do cabo	Carro não tem qualquer movimento	Falência do material por fim de vida Prisão do cabo na roldana ou no tambor enrolador	2	4	8	64

Sistema	Subsistema	Componente	Função	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causa de falha	Ocorrência O	Severidade S	Detect.* D	RPN	
Sistema de transporte	Sistemas de protecção	Protecções laterais	Protecção de componentes e operadores	Existência de fracturas/fissuras	Colapso da estrutura	Falência do material	1	2	8	16	
				Empeno da estrutura	Zonas da prensa sem protecção	Perda de características do material	2	2	8	32	
					Zonas da prensa sem protecção	Embate	4	2	8	64	
		Batentes	Amortecimento de carro	Existência de fracturas/fissuras	Colapso da estrutura	Falência do material	1	2	8	16	
				Empeno da estrutura	Embate na estrutura do carro de prensagem	Perda de características do material	2	2	8	32	
					Embate por excesso de força no movimento do carro de prensagem	Embate por excesso de força no movimento do carro de prensagem	2	2	8	32	
Carro de prensagem	Sistemas de protecção	Cantos em poliuretano	Protecção da zona de prensagem	Quebra da estrutura	Existência de arestas e pontos perfurantes	Perda de características do material	10	8	4	320	
					Libertação de partículas para a zona de prensagem		Falência do material	10	4	6	240
				Material prensado	Perda de área de protecção	10	6	6	360		
					Perda de área de protecção	10	6	6	360		
		Laterais em poliuretano	Protecção da zona de prensagem	Quebra da estrutura	Existência de arestas e pontos perfurantes	Perda de características do material	10	8	4	320	
					Libertação de partículas para a zona de prensagem		Falência do material	10	4	6	240
				Material prensado	Perda de área de protecção	10	6	6	360		
					Perda de área de protecção	8	8	6	384		
		Tapete de protecção	Protecção da membrana e borracha	Sobrepressão	Perda de espessura	Falta de controlo no estágio de alta pressão	6	8	6	288	
				Fim de ciclo de vida	Existência de fissuras	Perda de características do material	6	8	6	288	
				Perfuração acidental	Ruptura do tapete	Existência de arestas cortantes ou objectos perfurantes	10	6	6	360	
		Borrachas de enchimento	Protecção da membrana e borracha	Deterioração das borrachas	Libertação de partículas para a zona de prensagem	Perda de características do material	10	4	4	160	
					Perda de espessura de protecção		Falência do material	10	6	6	360
				Material prensado	Perda de espessura de protecção	8	6	6	288		
		Borrachas de enchimento	Protecção da membrana e borracha	Deterioração das borrachas	Libertação de partículas para a zona de prensagem	Perda de características do material	10	2	2	40	
					Perda de espessura de protecção		Falência do material	10	4	4	160
				Material prensado	Perda de espessura de protecção	10	4	4	160		
		Paredes em poliuretano	Protecção da zona de prensagem	Quebra da estrutura	Existência de arestas e pontos perfurantes	Perda de características do material	8	8	6	384	
					Libertação de partículas para a zona de prensagem		Falência do material	8	4	6	192
				Material prensado	Perda de área de protecção	8	6	6	288		
					Perda de área de protecção	8	6	6	288		
		Estrutura	Maciço em aço	Suporte da estrutura	Existência de fracturas/fissuras	Colapso da estrutura	Falência do material	1	6	6	36
					Empeno da estrutura	Estrutura não entra no interior da prensa	Perda de características do material	2	6	6	72
			Chapas em aço laterais	Contenção das peças no interior do carro	Existência de fracturas/fissuras	Colapso da estrutura	Falência do material	1	6	8	48
					Empeno da estrutura	Estrutura não entra no interior da prensa	Perda de características do material	4	6	8	192
			Roda de translação	Movimentação do carro	Existência de fracturas/fissuras	Prisão durante do movimento	Desgaste do material	2	6	6	72
					Roda presa	Deslocação do carro não ocorre	Falência do material	4	6	6	144
			Roda guia	Guiamento da translação do carro	Existência de fracturas/fissuras	Prisão durante do movimento	Desgaste do material	2	6	6	72
					Roda presa	Deslocação do carro não ocorre	Falência do material	4	6	6	144

#### 4.2.2 Análise de Resultados

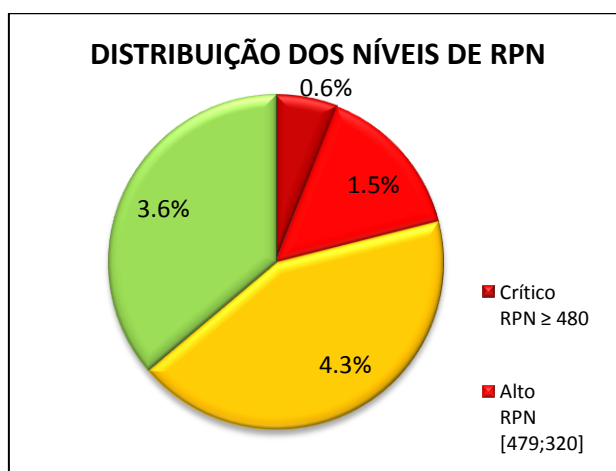
A presente secção tem como objectivo avaliar os resultados obtidos da implementação da metodologia FMEA. Na Figura 4-4 encontra-se resumida a distribuição do número de identificações por nível de RPN. Das 201 situações avaliadas como modo de falha da prensa hidráulica, verifica-se que se encontram 9 situações com avaliação crítica, sendo necessária uma acção imediata na tentativa de mitigar o nível de risco. Também se verificou a existência de 24 identificações consideradas de risco alto, devendo ser também tomadas acções a curto prazo. As medidas sugeridas para mitigar o risco encontram-se desenvolvidas na secção 4.2.3 Acções recomendadas para mitigação do risco.



**FIGURA 4-4 NÚMERO DE IDENTIFICAÇÕES POR GRAU DE RISCO**

Após uma avaliação dos pesos dos vários graus de risco, verifica-se que menos de um quarto das avaliações corresponde a um grau de risco crítico ou alto, sendo respectivamente 5,9% e 15,1%. Esta situação é bastante negativa, uma vez que os riscos com maior incidência ou maior gravidade têm uma dispersão ainda considerável no funcionamento da prensa hidráulica.

Verifica-se ainda uma incidência de 42,8% dos riscos considerados de nível moderado e 36,2% dos riscos considerados de nível baixo. A Figura 4-5 resume a distribuição dos pesos dos vários graus de risco.



**FIGURA 4-5 DISTRIBUIÇÃO DE NÍVEIS DE RPN**

### 4.2.3 Accões recomendadas para mitigação do risco

A presente secção tem como objectivo representar e resumir as medidas recomendadas para a mitigação do risco identificado na metodologia FMEA. Foram avaliadas todas as identificações da metodologia FMEA, tendo-se agrupado as medidas recomendadas por 5 famílias:

- **Manutenção preventiva:** são agrupadas todas as medidas consideradas em plano de manutenção preventiva e que são regularmente efectuadas pelos técnicos de manutenção;
- **Manutenção correctiva:** são agrupadas todas as medidas consideradas após a identificação ou falência do material. Considera-se a manutenção a este nível quando a intervenção é considerada de baixa complexidade e rapidez na execução, correspondendo a um tempo de paragem da máquina reduzido;
- **Controlo de condição:** são agrupadas todas as medidas em linha com a manutenção preditiva do equipamento, destacam-se as acções específicas de controlo e monitorização da condição do equipamento, nomeadamente controlo da qualidade de óleos, análise de vibrações, análise termográfica e análise estrutural;
- **Retrofit/Engenharia:** são consideradas as medidas que implicam uma alteração do equipamento ou adaptação do processo produtivo a nível de engenharia de processo;
- **Spare estratégico:** são consideradas todas as medidas que sugerem a aquisição de componente para armazém estratégico. Neste caso deverá ser considerado um sistema Min/Max<sup>7</sup>, de forma a garantir a existência do componente em armazém, após o seu consumo.

Abaixo encontra-se representado o mapa de medidas recomendadas para mitigação do risco. De forma a não tornar o mapa demasiado exaustivo, todos os motores, bombas e conjuntos de válvulas dos vários sistemas foram agrupados por família de componente, considerando-se que as medidas recomendadas são semelhantes.

<sup>7</sup> Sistema que corresponde à gestão de stocks em armazém, sendo adquirido o máximo do lote (Max) quando as existências em armazém chegarem a um valor mínimo (Min).

Sistema	Subsistema	Ponto de actuação	Anomalia/Desvio	Tipo de manutenção					Acções recomendadas	
				MP	MC	CC	RE	SE		
Sistema hidráulico	Motores	Carcaça do motor	Aglomerção de sujidade na carcaça do equipamento	X					Limpeza de toda a estrutura dos motores de forma a evitar a acumulação de sujidades	
		Sistema de ventilação	Anomalia na ventilação			X			Análise de vibrações e/ou análise termográfica para verificação do estado do sistema de arrefecimento do motor (pesquisa de desequilíbrios no ventilador)	
		Rolamentos	Rolamentos com desgaste	X					Análise de vibrações e/ou análise termográfica, substituição de rolamentos caso necessário	
		Ligações eléctricas	Desapertos nas ligações eléctricas	X					Reapertos de ligações eléctricas em manutenção preventiva	
		Relé térmico	Afinações incorrectas	X					Afinação de relé conforme procedimento de manutenção preventiva	
			Perda de características do material		X				Substituição após avaria	
		Termistor	Quebra dos contactos		X				Substituição após avaria	
	Bombas	Bomba	Elementos com desgaste		X		X		X	Análise de vibrações para pesquisa de desequilíbrios na bomba Aquisição de conjunto de vedantes, empanques e casquilhos dos vários modelos das bombas Aquisição de bomba de spare estratégico Realização de manutenção profunda da cada 5 anos (abertura total da bomba, verificação do estado de corrosão, folgas, fugas, etc)
				Falta de lubrificação	X					Acção de lubrificação em plano de manutenção preventiva
				Óleo contaminado			X			Recolha e análise da qualidade do óleo hidráulico
				Desiquilíbrio/Desalinhamento das partes rotativas			X			Análise de vibrações para pesquisa de desequilíbrios na bomba
		Vedantes	Vedantes e juntas deterioradas	X					Substituição de juntas e vedantes em manutenção preventiva	
		Bloco de válvula de deslocação dos carros	Válvula	Elementos com desgaste	X		X		X	Análise termográfica anual e aquisição de válvula para stock
				Componentes obsoletos					X	Aquisição de válvula para stock
	Falta de lubrificação			X					Lubrificação em manutenção preventiva	
	Ligações eléctricas	Falha de alimentação eléctrica	X					Reaperto de ligações eléctricas em manutenção preventiva		
	Vedantes	Vedantes deteriorados		X			X	Aquisição de válvula para stock, em caso de ruptura do vedante substituição em manutenção correctiva		
	Bloco de válvulas de rotação de tambores	Válvula	Elementos com desgaste	X		X		X	Análise termográfica anual e aquisição de válvula para stock	
			Componentes obsoletos					X	Aquisição de válvula para stock	
			Falta de lubrificação	X					Lubrificação em manutenção preventiva	
		Ligações eléctricas	Falha de alimentação eléctrica	X					Reaperto de ligações eléctricas em manutenção preventiva	
	Vedantes	Vedantes deteriorados		X			X	Aquisição de válvula para stock, em caso de ruptura do vedante substituição em manutenção correctiva		

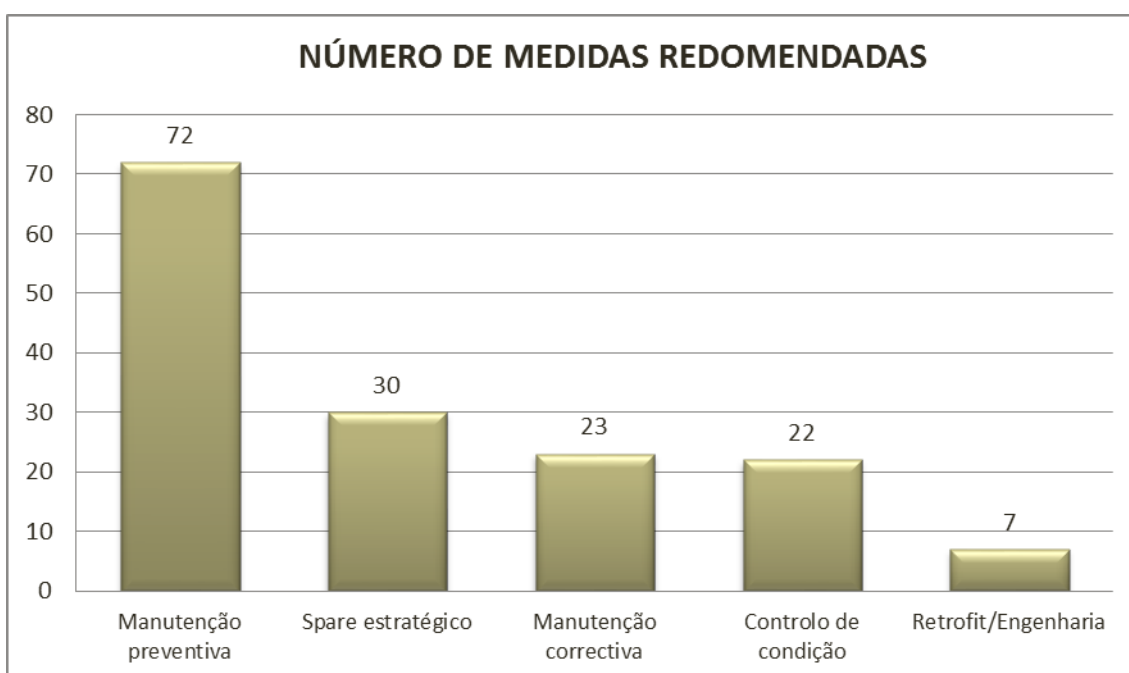
Sistema	Subsistema	Ponto de actuação	Anomalia/Desvio	Tipo de manutenção					Acções recomendadas
				MP	MC	CC	RE	SE	
Sistema hidráulico	Bloco de válvulas de enchimento da prensa	Válvula	Elementos com desgaste	X		X		X	Análise termográfica anual e aquisição de válvula para stock
			Componentes obsoletos					X	Aquisição de válvula para stock
			Falta de lubrificação	X					Lubrificação em manutenção preventiva
		Ligações eléctricas	Falha de alimentação eléctrica	X					Reaperto de ligações eléctricas em manutenção preventiva
		Vedantes	Vedantes deteriorados		X			X	Aquisição de válvula para stock, em caso de ruptura do vedante substituição em manutenção correctiva
	Depósito de óleo		Corrosão nas paredes e fundo do depósito	X					Tratamento do circuito com inibidor de corrosão, limpeza de tanque em manutenção preventiva
	Permutador água-óleo	Torre de arrefecimento	Falha na alimentação eléctrica	X					Reaperto de ligações eléctricas e verificação de estado de contactores, fusíveis em manutenção preventiva
			Falha na ordem de comando de início da torre de arrefecimento		X				Medição de continuidades no cabo de sinal da torre de arrefecimento em manutenção preventiva
			Falha nas bombas do circuito de arrefecimento	X	X				Ensaio das bombas em manutenção preventiva
		Permutador	Existência de calcinações e/ou incrustações de corrosão devido à ausência de tratamento da água do circuito	X				X	Realização de limpeza do sistema anualmente com desincrustante. Aquisição de permutador para stock estratégico
	Corrosão nas paredes e fundo do depósito		X					Utilização de tratamento anticorrosão nas manutenções preventivas	
	Filtro de óleo	Filtro de óleo	Filtro colmatado	X			X		Substituição de filtro em manutenção preventiva Instalação de indicador de diferencial de pressão de forma a evidenciar a colmatação do filtro
			Filtro degradado		X			X	Substituição de filtro em manutenção correctiva. Aquisição de filtro para stock
	Pressostato	Pressostato	Elemento móvel danificado		X				Substituição de pressostato em manutenção correctiva
			Desregulação do pressostato			X			Verificação do funcionamento do pressostato em manutenção preventiva. Verificação de pressão de funcionamento corresponde à pressão de projecto
			Sujidades no sistema	X					Manutenção preventiva dos sistemas de filtragem do óleo hidráulico
	Manómetro	Manómetro	Membrana danificada		X				Substituição de manómetro em manutenção correctiva
			Desregulação do sistema de medição			X			Verificação e registo dos valores de pressão registados no manómetro, substituir em caso de necessidade
	Tubagem de condução	Tubagem	Aperto insuficiente durante operações de manutenção	X					Reaperto de tubagens em manutenção preventiva
			Degradação da tubagem			X			Verificação do estado de corrosão das tubagens, caso necessário efectuar a sua substituição
			Existência de partículas contaminantes no circuito	X					Utilização de produto anticorrosão de forma a evitar o ataque das tubagens
		Vedantes	Material deteriorado		X				Substituição de vedantes apenas em manutenção correctiva
	Válvula de alívio	Válvula de alívio	Desgaste da sede da válvula		X			X	Aquisição de válvula e kit de reparação da válvula para reparação em manutenção correctiva
Perda de características da mola				X			X	Aquisição de kit de reparação da válvula para reparação em manutenção correctiva	
Válvula mal regulada			X					Verificar e corrigir o valor de pressão da válvula de alívio, trabalho a efectuar em manutenção preventiva	

Sistema	Subsistema	Ponto de actuação	Anomalia/Desvio	Tipo de manutenção					Acções recomendadas
				MP	MC	CC	RE	SE	
Sistema hidráulico	Electroválvula de condução	Electroválvula	Falta de lubrificação	X					Lubrificação em manutenção preventiva
			Componente eléctrica queimada	X					Verificação e reaperto dos contactos da electroválvula
		Ligações eléctricas	Falta de sinal de chegada	X					Medição de continuidades no cabo de sinal da electroválvula em manutenção preventiva
Cilindro prensa	Meia lua	Meia lua	Falência do material			X		X	Substituição de meia lua consoante os níveis de desgaste do componente, verificação através de raio X ou análise de Aquisição de componente para stock estratégico
	Chapas em cunha	Chapas em cunha	Instalação incorrecta	X				X	Remoção de todas as bolhas e ar existentes entre a meia lua e as chapas em cunha. Aquisição de conjunto para stock
			Utilização de colas de elevada dureza	X					Utilização de colas com elevada flexibilidade e resistência
	Fio de bronze	Fio de bronze	Instalação incorrecta	X				X	Colagem ao pormenor em toda a zona envolvente da meia lua de forma a garantir a aderência. Aquisição de fio de cobre conforme especificação técnica para stock
			Utilização de colas de elevada dureza	X					Utilização de colas com elevada flexibilidade e resistência
	Meia Lua	Fixação de meia lua	Falência do material			X		X	Substituição de meia lua consoante os níveis de desgaste do componente, verificação através de raio X ou análise de Aquisição de componente para stock estratégico
		Parafusos de aperto	Parafusos com folga	X					Reaperto de parafusos em manutenção preventiva
			Falência dos parafusos de aperto			X			Avaliação do estado dos parafusos de aperto, verificar a existência de fracturas em raio X e caso necessário substituir
	Macacos hidráulicos	Macacos	Falta de lubrificação	X					Lubrificação em manutenção preventiva
			Perda de características do material		X			X	Substituição de macacos em macutenção correctiva. Aquisição de conjunto de macacos para stock
			Desalinhamento do macaco	X					Alinhamento dos macacos em manutenção preventiva
			Partículas agarradas às paredes da sede do macaco	X					Limpeza do interior da superfície da parede dos macacos de forma a ficar isenta de partículas. Trabalho a ser realizado em manutenção preventiva
		Vedantes	Vedantes deteriorados	X					Susbtituição de vedantes em manutenção preventiva
	Chapas e barras estruturais	Chapas/protecções metálicas	Desgaste do material			X			Avaliação com raio X ou líquidos penetrantes a existência de fracturas interiores nas chapas de protecção, caso necessário substituir
			Existência de partículas contaminantes	X					Limpeza das protecções de forma a eliminar sujidades
Cilindro	Cilindro maciço	Falência do material		X				Substituição de chapas após falência em manutenção correctiva.	
Prensa	Chapa em aço e chapa perfurada	Chapa em aço e chapa perfurada	Falência do material			X		X	Avaliação com raio X ou líquidos penetrantes a existência de fracturas interiores nas chapas de protecção, caso necessário substituir. Aquisição de chapa para stock
	Membrana	Membrana	Falta de controlo no estágio de alta pressão	X					Manutenção preventiva de todo o sistema de controlo de pressão hidráulica
			Falência do material		X			X	Substituição de membrana após falência. Aquisição de membrana para stock
			Existência de arestas cortantes ou objectos perfurantes	X					Verificação e eliminação de todos os objectos cortantes ou perfurantes que possam entrar no prato da prensa
			Sobreaquecimento	X			X		Instalação de sensor de temperatura com autómato para corte de ciclo em caso de temperatura elevada Manutenção preventiva do sistema de arrefecimento da prensa

Sistema	Subsistema	Ponto de actuação	Anomalia/Desvio	Tipo de manutenção					Acções recomendadas	
				MP	MC	CC	RE	SE		
Prensa	Borracha	Borracha	Falta de controlo no estágio de alta pressão				X		Instalação de sensor de pressão ligado ao automático da máquina de forma a cortar o ciclo em caso de pressão excessiva	
			Falência do material		X			X	Substituição de borracha após falência. Aquisição de membrana para stock	
			Existência de arestas cortantes ou objectos perfurantes	X					Verificação e eliminação de todos os objectos cortantes ou perfurantes que possam entrar no prato da prensa	
			Sobreaquecimento	X			X		Instalação de sensor de temperatura com automático para corte de ciclo em caso de temperatura elevada	
			Perda de características do material	X					Manutenção preventiva do sistema de arrefecimento da prensa	
	Vedantes	Vedantes	Material deteriorado	X				X	Substituição de vedantes em manutenção preventiva	
	Cunhas e frizo selante	Cunhas e frizo selante	Instalação incorrecta	X					Formação dos operadores sobre procedimento de substituição das cunhas. Desenvolvimento de procedimento de manutenção de substituição de cunhas e frizo selante	
			Degradação do material	X				X	Verificação frequente do estado do material de selagem e substituição em caso de estado de degradação. Aquisição de friso e cunhas como stock estratégico	
	Injectores de lubrificação	Injector de lubrificação	Degradação do material	X					X	Limpeza frequente de canais de lubrificação em manutenção preventiva. Aquisição de conjunto de injectores de lubrificação para stock estratégico
		Canal de lubrificação	Deslocação do canal de lubrificação	X						Verificação frequente do estado dos injectores de lubrificação para aferição do estado de integridade do componente
Entupimento dos canais de lubrificação			X						Limpeza dos canais de lubrificação em manutenção preventiva	
Sistema de transporte	Sensor de posição (Microswitch)	Sensor	Degradação do material		X				Substituição do microswitch em manutenção correctiva após falência do material	
			Fim de vida útil					X	Aquisição de microswitch para stock estratégico	
			Sujidade	X					Limpeza dos sensores de posição em manutenção preventiva	
		Ligações eléctricas	Desapertos nas ligações eléctricas	X					Reaperto de ligações eléctricas em manutenção preventiva	
	Tambor enrolador	Rolamentos	Desgaste dos rolamentos			X			Monitorização de vibrações do tambor enrolador para avaliação do desgaste de rolamentos	
		Circuito hidráulico	Obstrução do circuito hidráulico	X					Limpeza e lubrificação do circuito de lubrificação do tambor enrolador	
		Tambor	Existência de sujidade	X					Limpeza de sujidades existentes no conjunto cinemático e tambor enrolador em manutenção preventiva	
	Carril	Carril	Desgaste do material		X	X			Monitorização do estado dos carris através de líquidos penetrantes ou Eddy correntes	
			Existência de sujidade	X					Enchimento e rectificação das zonas desgastadas do carril, em caso de desgaste excessivo proceder à sua substituição	
	Sistema Roldana/Cabo de aço	Sistema Roldana/Cabo de aço	Desgaste do material	X	X				Monitorização do estado das roldanas em manutenção preventiva e efectuar substituição após falência do material	
Existência de sujidade			X					Limpeza do sistema de roldana em manutenção preventiva		
Rolamentos		Desgaste dos rolamentos	X		X			Limpeza e lubrificação dos rolamentos do sistema de roldana. Monitorizar o estado dos rolamentos em manutenção preventiva para substituição		

Sistema	Subsistema	Ponto de actuação	Anomalia/Desvio	Tipo de manutenção					Acções recomendadas
				MP	MC	CC	RE	SE	
Sistema de transporte	Protecções	Protecções	Falência do material	X		X			Limpeza e monitorização do estado de integridade das protecções laterais. Substituir caso existam amolgadelas significantes que possam impactar no funcionamento dos carros
			Embate				X		Instalação de protecções em torno de toda a envolvente da máquina
Carro de prensagem	Protecções em poliuretano	Protecções em poliuretano	Perda de características do material	X					Limpeza de toda a sujidade que possa existir nas protecções Reapertos de todas as ligações aparafusadas de forma a evitar a criação de furos ovalizados Monitorização visual do estado de integridade das protecções laterais
			Falência do material		X			X	Aquisição de conjunto total de protecções em poliuretano para stock estratégico. Substituição em caso de falência súbita do material
	Tapete de protecção	Tapete de protecção	Falta de controlo no estágio de alta pressão	X					Manutenção do sistema hidráulico de baixa e alta pressão de forma a impossibilitar a deformação plástica do tapete de protecção
			Perda de características do material	X		X			Monitorização visual do estado de integridade do tapete de protecção, pesquisa de pequenas fissuras ou rasgos que possam comprometer a membrana Realização de ensaio anual para avaliação do nível de dureza do tapete de protecção
			Existência de arestas cortantes ou objectos perfurantes	X			X		Formação dos operadores para procedimento de enchimento dos carros de prensagem Estudo com engenharia de processo para a eliminação de arestas e pontas perfurantes dos moldes de prensagem
			Falência do material					X	Aquisição de borracha de protecção para carro para stock
	Borrachas de protecção e de enchimento	Borrachas de protecção e de enchimento	Falta de controlo no estágio de alta pressão	X					Manutenção do sistema hidráulico de baixa e alta pressão de forma a impossibilitar a deformação plástica das protecções
			Perda de características do material	X	X				Monitorização do estado de integridade das borrachas de enchimento, substituição em caso de deformação acentuada ou existência de fissuras
			Existência de arestas cortantes ou objectos perfurantes	X			X		Formação dos operadores para procedimento de enchimento dos carros de prensagem Estudo com engenharia de processo para a eliminação de arestas e pontas perfurantes dos moldes de prensagem
	Estruturas em aço (carro e paredes)	Estruturas em aço (carro e paredes)	Falência do material	X				X	Limpeza e manutenção das estruturas em aço dos carros Aquisição de conjunto total de laterais em aço para stock estratégico
			Perda de características do material	X		X			Limpeza e manutenção das estruturas em aço dos carros Monitorização da existência de fissuras internas através de raio X, líquidos penetrantes ou EDDY correntes
	Rodas de translação e guia	Rodas de translação e guia	Desgaste do material	X					Limpeza e lubrificação das rodas de translação e rodas guia em manutenção preventiva, pesquisa de prisões ou ruídos anómalos durante a movimentação do carro Monitorização visual do estado das rodas de translação e rodas guia
			Falência do material					X	Aquisição de conjunto de rodas de translação e rodas guia para stock estratégico
			Existência de sujidade	X					Limpeza das rodas de translação em manutenção preventivas

Na Figura 4-6 encontram-se agrupadas as medidas recomendadas para a mitigação do RPN identificado na metodologia FMEA. Como se pode verificar existem 72 identificações que remetem para a realização de manutenção preventiva aos equipamentos, 30 medidas identificadas como sendo necessária a aquisição de componentes para armazém estratégico, 23 acções que dependem da falência do material, havendo a sua reparação em manutenção correctiva, 22 medidas que sugerem o controlo/monitorização de condição dos equipamentos e finalmente são identificadas 7 medidas que implicam uma alteração ao equipamento ou adaptação do processo produtivo.

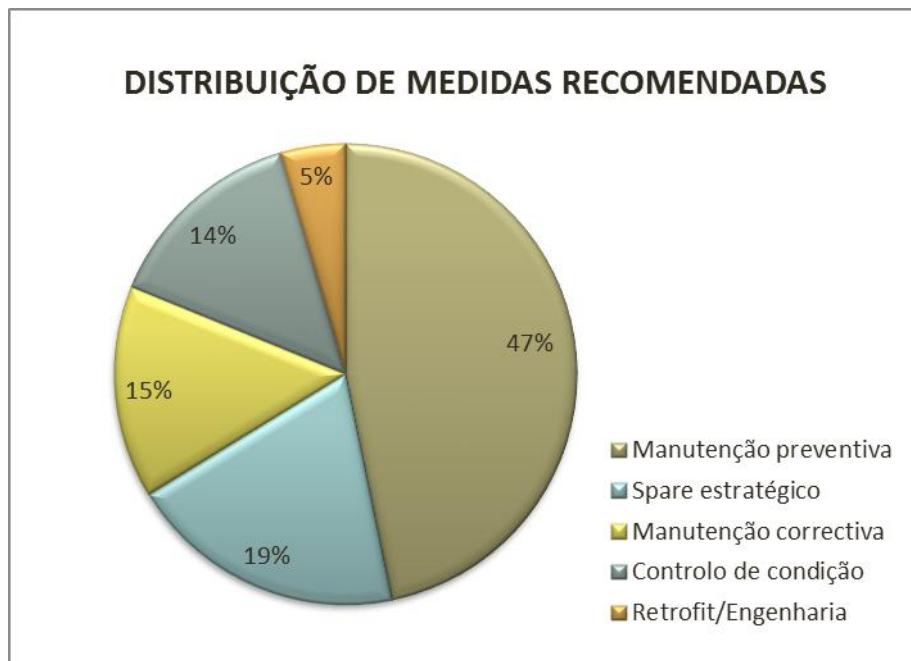


**FIGURA 4-6 MEDIDAS DE RECOMENDAÇÃO PARA MITIGAÇÃO DO RPN**

Após uma avaliação das várias medidas sugeridas, que se encontra resumida na Figura 4-7, verifica-se que as acções de manutenção preventiva têm o maior peso, sendo de 47% do total das medidas sugeridas. Esta situação encontra-se em linha com a política de gestão da manutenção existente na Organização.

Verifica-se também que cerca de 19% das acções recomendadas estão centradas na aquisição de *sparcs* estratégicos para armazém. Esta situação reflete-se devido à idade do equipamento e à existência considerável de componentes obsoletos, que já não se encontram no mercado. Com esta estratégia, é possível antecipar a avaria e garantir a existência de componente de substituição em armazém. Como segunda etapa, sugere-se a reparação dos componentes danificados de forma a garantir como rotável da prensa.

Relativamente às medidas de manutenção correctiva e controlo de condição, estas possuem um peso de 15% e 14% respectivamente sobre a totalidade das medidas apresentadas. Com menor representação encontram-se as medidas de engenharia, com um peso apenas de 5%.



**FIGURA 4-7 DISTRIBUIÇÃO DE MEDIDAS RECOMENDADAS PARA A MITIGAÇÃO DO RPN**

### **4.3 IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA AHP NA TOMADA DE DECISÃO**

O presente subcapítulo tem como objectivo resumir e espelhar todos os passos tomados para a implementação da metodologia AHP para a tomada de decisão. Para a implementação desta metodologia, foram primeiramente avaliadas todas as identificações com metodologia FMEA com RPN igual ou superior a 320, cujas medidas implicam a aquisição de *spares* estratégicos. Foi escolhido o nível de RPN de 320, uma vez que se considera intolerável para a integridade do equipamento ou segurança das pessoas, uma conjugação de avaliações parciais de nível 10 e 8 (excepto ocorrências com pontuações muito baixas, inferior a 4). Esta avaliação encontra-se em linha com a definição apresentada no Subcapítulo 4.2 IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA. Na Tabela 4-5 encontram-se resumidas as medidas com necessidade de investimento que foram priorizadas pela metodologia AHP.

**TABELA 4-5 - MEDIDAS COM NECESSIDADE DE INVESTIMENTO AVALIADAS PELA METODOLOGIA AHP**

<i>Componente</i>	<i>Função</i>	<i>O</i>	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>RPN</i>	<i>Aquisição de material</i>
Filtro de óleo	Filtragem do sistema	8	8	8	512	Filtro
Membrana	Diafragma de contenção do óleo em pressão	6	10	10	600	Membrana
Borracha	Diafragma de protecção da membrana	6	10	10	600	Borracha
Bomba P7	Regulação do HM1	6	8	8	384	Bomba rotável
Bomba P1	Aspiração rápida do óleo da membrana de prensagem	8	10	4	320	Bomba rotável
Macacos hidráulicos	Subida e descida do prato de prensagem aquando a entrada dos carros	8	8	6	384	Conjunto de 5 macacos para rotável
Injectores de lubrificação	Lubrificação das superfícies entre a membrana e a borracha	8	6	8	384	Conjunto de 2 injectores de lubrificação
Cantos em poliuretano	Protecção dos cantos da zona de prensagem	8	6	8	384	Conjunto de 4 cantos (conjunto completo para um carro)
Laterais em poliuretano	Protecção das laterais da zona de prensagem	10	6	6	360	Conjunto completo de protecções laterais
Tapete de protecção	Protecção da estrutura de prensagem de moldes com arestas vivas ou superfícies perfurantes	8	8	6	384	Tapete de protecção
Paredes em poliuretano	Protecção e flexibilização da do carro de prensagem para as pressões de trabalho	8	6	8	384	Conjunto de 4 paredes em poliuretano (conjunto completo para um carro)

Devido ao elevado número de identificações com necessidade de investimento por parte da Organização, as 11 medidas identificadas como críticas ou graves de aquisição, foram avaliadas consoante a sua composição do nível de risco. Esta avaliação teve como objectivo averiguar a composição dos pesos dos níveis de Ocorrência, Severidade e Detectabilidade, de forma a eliminar identificações com pesos relativamente baixos. Na Tabela 4-6 encontra-se a matriz de decisão desenvolvida para a análise dos pesos do RPN, onde se verificam os valores da Ocorrência e Detectabilidade nos eixos, e os níveis da Severidade preenchidos na tabela. As cores representam a criticidade de avaliação das medidas preventivas, neste trabalho são avaliadas apenas as medidas contidas no nível vermelho, sendo consideradas as situações mais críticas e urgentes para a sua implementação. Esta tabela foi construída através da avaliação dos níveis dos três factores de risco e classificação das conjugações que podem ser toleradas pela Organização e quais as conjugações que são críticas. Seria espectável que todas as medidas preventivas equivalentes a factores de risco com uma classificação igual a 10, fossem imediatamente implementados, mas, se o nível de detectabilidade for baixo considera-se que facilmente é detectável, ou se o nível de severidade for baixo, considera-se que tem consequências residuais para a Organização. Esta matriz foi desenvolvida como ferramenta auxiliar para o avaliador, de forma a simplificar e priorizar os seus problemas.

**TABELA 4-6 - MATRIZ DE DECISÃO PARA MEDIDAS PREVENTIVAS IDENTIFICADAS COM NECESSIDADE DE INVESTIMENTO E RPN IGUAL OU SUPERIOR A 320**

Ocorrência	10	6	8	8	8	10	10
	8	4	6	8	8	8	10
	6	2	4	6	8	8	8
	4	2	2	4	6	8	8
	2	1	2	2	4	6	8
	1	1	1	2	2	4	6
		1	2	4	6	8	10
	Detectabilidade						

Como exemplo, através da Tabela 4-7 ao se avaliar a medida identificada da necessidade de aquisição das protecções laterais em poliuretano, constata-se um nível de Ocorrência de 10, um nível de Detectabilidade de 6 e um nível de Severidade também de 6. Através da análise da matriz, verifica-se que cruzando os níveis de Ocorrência e de Detectabilidade, obtém-se um nível de Severidade igual ou superior a 8, neste caso a medida não é avaliada porque o nível de Severidade foi pontuado em nível 6, logo é inferior.

**TABELA 4-7 - MATRIZ DE DECISÃO EXEMPLIFICATIVA DO MODO DE AVALIAÇÃO NOS NÍVEIS DE RPN**

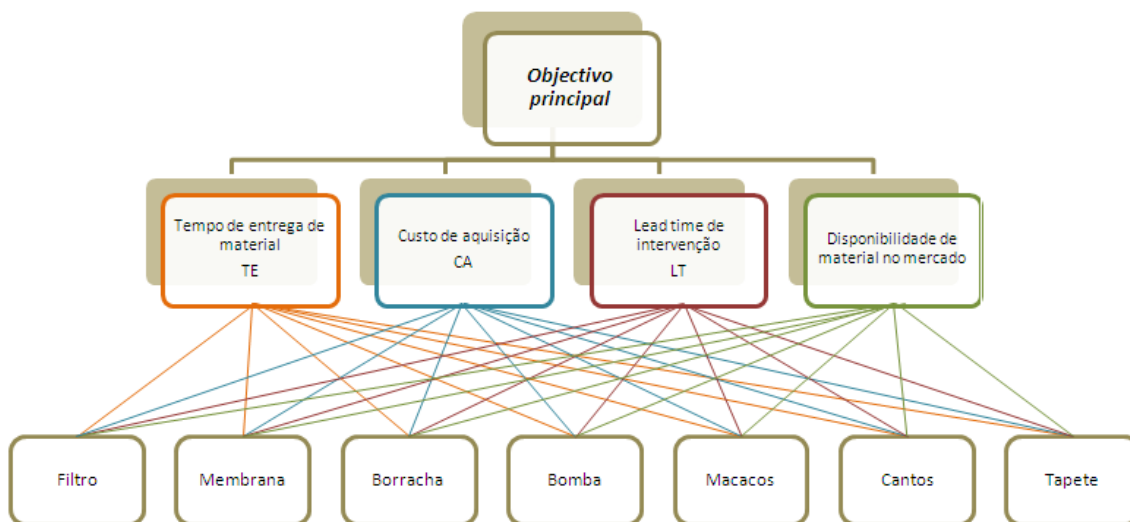
Ocorrência	10	6	8	8	8	10	10
	8	4	6	8	8	8	10
	6	2	4	6	8	8	8
	4	2	2	4	6	8	8
	2	1	2	2	4	6	8
	1	1	1	2	2	4	6
		1	2	4	6	8	10
	Detectabilidade						

Após esta avaliação, verificou-se a necessidade de implementação da metodologia AHP a 7 medidas com necessidade de investimento, nomeadamente aquisição de:

1. Filtro de óleo para o sistema hidráulico principal
2. Diafragma para a contenção do óleo em pressão
3. Diafragma de protecção da membrana
4. Bomba para alimentação do motor hidráulico HM1
5. Conjunto de macacos para a subida e descida do prato de prensagem
6. Conjunto de cantos para protecção lateral do carro de prensagem
7. Tapete de protecção para protecção da estrutura dos moldes

### 4.3.1 Construção da hierarquia

Para a implementação da metodologia AHP, foi necessário estruturar a hierarquia da decisão desde o topo que constitui o objectivo final, até às diferentes alternativas para este mesmo objectivo, através da definição de critérios e subcritérios, que representam os vários graus da hierarquia. O esquema de hierarquização adoptado encontra-se representado na Figura 4-8, sendo este constituído por 3 níveis.



**FIGURA 4-8 ESQUEMA DE HIERARQUIA PARA A TOMADA DE DECISÃO NA AQUISIÇÃO DE SPARES ESTRATÉGICOS PARA A PRENSA HIDRÁULICA**

Como primeiro nível tem-se o objectivo global, que corresponde à priorização de necessidade de aquisição de *spares* estratégicos para a prensa hidráulica. Este será o principal foco para a Organização, que necessita de avaliar e estruturar o seu plano de aquisições para este equipamento.

Como segundo nível têm-se os vários critérios que estruturaram o objectivo principal, neste caso, são definidos os vários critérios que mais peso têm, aquando a aquisição de materiais ou equipamentos.

Como terceiro nível têm-se as várias alternativas em análise, que neste caso são as várias opções identificadas como necessidade para a aquisição de *spares*, nas medidas preventivas oriundas da metodologia FMEA.

### 4.3.2 Definição de critérios

Para a implementação da metodologia AHP é necessária a definição dos vários critérios que pesarão da tomada de decisão. Esta secção resume os vários critérios utilizados.

São vários os critérios utilizados pelos gestores de manutenção, porém existe uma ausência de uniformização e padrão dos mesmos. Por vezes são tomadas decisões

consoante o momento, o que tenderá a influenciar a obtenção dos resultados. A denominação e ponderação dos critérios varia consoante dos modelos de gestão da manutenção, resultando numa dificuldade acrescida a nível de interpretação dos resultados. De forma a enquadrar o leitor, segue uma breve descrição dos critérios seleccionados:

- **Tempo de entrega de material (TE)**  
O tempo de entrega do material é extremamente importante nas actividades de Manutenção Industrial. Este factor é preponderante para a aquisição do item para *stock* estratégico, uma vez que tem que haver a disponibilidade do componente para uma eventual avaria.
- **Custo de aquisição de material (CA)**  
O custo é factor decisivo para qualquer tipo de indústria, qualquer gestor tem de avaliar minuciosamente os custos inerentes a qualquer actividade. Neste caso, o gestor de manutenção também tem como função a avaliação dos custos de aquisição de materiais.
- **Lead-time de intervenção (LT)**  
O *lead time* de intervenção corresponde ao tempo de reparação do equipamento quando o componente avaria. Este critério é factor preponderante nas empresas que funcionam numa filosofia de *just-in-time*<sup>8</sup> e/ou quando existem linhas de produção encadeadas entre si. O tempo de intervenção corresponderá ao período em que a máquina não estará a produzir, tendo impacto a montante na linha de produção.
- **Disponibilidade de material no mercado (DM)**  
A disponibilidade de material no mercado corresponde ao nível de obsolescência do componente e da sua intermutabilidade, com outro componente que exista no mercado. Neste caso corresponderá à disponibilidade do componente no mercado, capacidade de identificação de fornecedores que possam comercializar o componente e a existência de componente de substituição equivalente.

#### **4.3.3 Definição de prioridades dos critérios de avaliação**

Após a construção da hierarquia e da definição dos critérios e alternativas, seguiu-se para a definição de prioridades e nas comparações par-a-par. Neste caso, os vários critérios foram comparados par-a-par de forma a se definirem os respectivos pesos que cada critério tem. A Tabela 4-8 representa as comparações par-a-par dos 4 critérios identificados.

---

<sup>8</sup> Sistema de gestão que se baseia na produção, transporte, compra, montagem, etc. apenas quando necessário. Esta filosofia baseia-se no sistema pull em que qualquer bem ou serviço só é dado para desenvolvimento quando efectivamente é pedido pelo seu cliente

**TABELA 4-8 - COMPARAÇÃO PAR-A-PAR PARA DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE CRITÉRIOS**

	TE	CA	LT	DM
TE	1	1/8	1/5	1/2
CA	8	1	3	8
LT	5	1/3	1	7
DM	2	1/8	1/7	1

Após a avaliação par-a-par, efectuou-se a normalização da matriz, consistindo no somatório de cada coluna, resumido na Tabela 4-9, e na respectiva divisão de cada elemento pelo somatório da respectiva coluna, resumido na Tabela 4-10.

**TABELA 4-9 - MATRIZ AUXILIAR PARA O CÁLCULO DA DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE CRITÉRIOS**

	TE	CA	LT	DM
TE	1,000	0,125	0,200	0,500
CA	8,000	1,000	3,000	8,000
LT	5,000	0,333	1,000	7,000
DM	2,000	0,125	0,143	1,000
Σ	16,0000	1,5833	4,3429	16,5000

**TABELA 4-10 - MATRIZ NORMALIZADA PARA A DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE CRITÉRIOS**

	TE	CA	LT	DM
TE	0,0625	0,0789	0,0461	0,0303
CA	0,5000	0,6316	0,6908	0,4848
LT	0,3125	0,2105	0,2303	0,4242
DM	0,1250	0,0789	0,0329	0,0606

De seguida procedeu-se ao cálculo do vector prioridades, para este cálculo calculou-se o somatório de cada linha e a posterior divisão pelo número de colunas. O vector originário corresponderá ao peso característico que cada critério, terá para a avaliação das várias alternativas.

**TABELA 4-11 - VECTOR PRIORIDADES**

	TE	CA	LT	DM	VP
TE	0,0625	0,0789	0,0461	0,0303	0,054451
CA	0,5000	0,6316	0,6908	0,4848	0,576804
LT	0,3125	0,2105	0,2303	0,4242	0,294383
DM	0,1250	0,0789	0,0329	0,0606	0,074362
					1,0000

Conforme é possível verificar na Tabela 4-11, tem-se a construção de um vector prioridades, que define que o critério com maior peso serão os custos de aquisição com um peso de 57,68%, o *lead time* da intervenção corresponde ao segundo critério com mais peso, com cerca de 29,44%, seguido da disponibilidade de material no mercado com um peso de 7,44% e finalmente o tempo de entrega de material, com um peso de 5,45%.

#### 4.3.3.1 Análise de Consistência

Após a obtenção do vector prioridades dos quatro critérios, procedeu-se à análise de consistência da metodologia. Esta análise tem como objectivo a avaliação da congruência e robustez das respostas do modelo a possíveis mudanças nas prioridades de cada critério.

Como primeira etapa procedeu-se ao produto da matriz de comparação com o vector prioridades dos critérios, estando representado na Tabela 4-12.

**TABELA 4-12 - MATRIZ AUXILIAR PARA ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE CRITÉRIOS**

	TE	CA	LT	DM	$w_i$	$Aw_i$
TE	1,0000	0,1250	0,2000	0,5000	0,0545	0,2226
CA	8,0000	1,0000	3,0000	8,0000	0,5768	2,4905
LT	5,0000	0,3333	1,0000	7,0000	0,2944	1,2794
DM	2,0000	0,1250	0,1429	1,0000	0,0744	0,2974

De seguida procedeu-se ao cálculo de  $\lambda_{max}$  que corresponde ao somatório de  $Aw_i$  a dividir por  $w_i$ , multiplicado pelo inverso do número de avaliações.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{0,2226}{0,0545} + \frac{2,4905}{0,5768} + \frac{1,2794}{0,2944} + \frac{0,2974}{0,0744} \right) = 4,1879$$

Seguidamente procedeu-se ao cálculo do Índice de Consistência (IC) que corresponde:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Neste caso, obtem-se:

$$IC = \frac{4,1879 - 4}{4 - 1} = 0,0626$$

Finalmente para o cálculo da razão de consistência (RC), procedeu-se à divisão do Índice de Consistência (IC) anteriormente calculado, pelo valor correspondente do *Random Index* (RI) desenvolvido por Saaty (1987). Neste caso, o valor do *Random Index* (RI) será de 0,9 que corresponderá ao índice equivalente a uma matriz de ordem 4.

$$RC = \frac{0,0626}{0,9} = 0,0696 < 0,10$$

Face aos valores apresentados, verifica-se que as avaliações efetuadas são consistentes e homogéneas uma vez que o valor de RC é inferior a 0,10.

#### **4.3.4 Definição de prioridades das alternativas segundo os critérios de avaliação**

Após a construção do vector prioridades, procedeu-se à definição de prioridades das várias alternativas ou de 3º nível. Foram avaliadas 7 alternativas segundo cada critério de 2º nível.

A título recordatório, abaixo encontram-se resumidas as 7 alternativas que foram avaliadas

1. Filtro de óleo para a o sistema hidráulico principal (**Filtro**)
2. Diafragma para a contenção do óleo em pressão (**Membrana**)
3. Diafragma de protecção da membrana (**Borracha**)
4. Bomba para alimentação do motor hidráulico HM1 (**Bomba**)
5. Conjunto de macacos para a subida e descida do prato de prensagem (**Macacos**)
6. Conjunto de cantos para protecção lateral do carro de prensagem (**Cantos**)
7. Tapete de protecção para protecção da estrutura dos moldes (**Tapete**)

##### ***4.3.4.1 Definição de prioridades do critério Custo de Aquisição (CA)***

De forma a não tornar o trabalho demasiado exaustivo, será explanado o processo de definição de prioridades das várias alternativas sobre a perspectiva do custo de aquisição, sendo que os restantes critérios e alternativas, poderão ser visualizados no Anexo I.

À semelhança das comparações par-a-par dos critérios de 2º nível, procedeu-se da mesma forma para a comparação das várias alternativas, segundo o seu custo de aquisição. A Tabela 4-13 resume os valores de comparação.

**TABELA 4-13 - COMPARAÇÃO PAR-A-PAR PARA DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO CUSTO DE AQUISIÇÃO (CA)**

	0,5 k€	40 k€	50 k€	10 k€	5 k€	2 k€	1,7 k€
CA	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	1	1/9	1/9	1/7	1/5	1/4	1/3
Membrana	9	1	1/2	5	6	7	7
Borracha	9	2	1	6	7	8	8
Bomba P7	7	1/5	1/6	1	4	5	5
Macacos	5	1/6	1/7	1/4	1	2	3
Cantos	4	1/7	1/8	1/5	1/2	1	2
Tapete	3	1/7	1/8	1/5	1/3	1/2	1

De seguida procedeu-se à normalização da matriz, estando resumido na Tabela 4-14 o somatório das colunas, e na Tabela 4-15 a divisão de cada elemento pelo somatório de cada coluna.

**TABELA 4-14 - MATRIZ AUXILIAR PARA A DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO CUSTO DE AQUISIÇÃO (CA)**

CA	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	1,0000	0,1111	0,1111	0,1429	0,2000	0,2500	0,3333
Membrana	9,0000	1,0000	0,5000	5,0000	6,0000	7,0000	7,0000
Borracha	9,0000	2,0000	1,0000	6,0000	7,0000	8,0000	8,0000
Bomba P7	7,0000	0,2000	0,1667	1,0000	4,0000	5,0000	5,0000
Macacos	5,0000	0,1667	0,1429	0,2500	1,0000	2,0000	3,0000
Cantos	4,0000	0,1429	0,1250	0,2000	0,5000	1,0000	2,0000
Tapete	3,0000	0,1429	0,1250	0,2000	0,3333	0,5000	1,0000
Σ	38,0000	3,7635	2,1706	12,7929	19,0333	23,7500	26,3333

**TABELA 4-15 - MATRIZ NORMALIZADA PARA A DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO CUSTO DE AQUISIÇÃO (CA)**

CA	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	0,0263	0,0295	0,0512	0,0112	0,0105	0,0105	0,0127
Membrana	0,2368	0,2657	0,2303	0,3908	0,3152	0,2947	0,2658
Borracha	0,2368	0,5314	0,4607	0,4690	0,3678	0,3368	0,3038
Bomba P7	0,1842	0,0531	0,0768	0,0782	0,2102	0,2105	0,1899
Macacos	0,1316	0,0443	0,0658	0,0195	0,0525	0,0842	0,1139
Cantos	0,1053	0,0380	0,0576	0,0156	0,0263	0,0421	0,0759
Tapete	0,0789	0,0380	0,0576	0,0156	0,0175	0,0211	0,0380

Na Tabela 4-16 encontra-se a matriz normalizada com o cálculo do vector prioridades. Para este cálculo procedeu-se ao somatório de cada linha e a posterior divisão pelo número de colunas. O vector originário corresponderá ao peso característico que cada alternativa terá segundo o critério Custo de Aquisição (CA).

**TABELA 4-16 - VECTOR PRIORIDADES SEGUNDO O CRITÉRIO CUSTO DE AQUISIÇÃO (CA)**

CA	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete	VP
Filtro	0,0263	0,0295	0,0512	0,0112	0,0105	0,0105	0,0127	0,0217
Membrana	0,2368	0,2657	0,2303	0,3908	0,3152	0,2947	0,2658	0,2856
Borracha	0,2368	0,5314	0,4607	0,4690	0,3678	0,3368	0,3038	0,3866
Bomba P7	0,1842	0,0531	0,0768	0,0782	0,2102	0,2105	0,1899	0,1433
Macacos	0,1316	0,0443	0,0658	0,0195	0,0525	0,0842	0,1139	0,0731
Cantos	0,1053	0,0380	0,0576	0,0156	0,0263	0,0421	0,0759	0,0515
Tapete	0,0789	0,0380	0,0576	0,0156	0,0175	0,0211	0,0380	0,0381
								1,0000

Face aos valores apresentados, segundo o critério Custo de Aquisição (CA), verifica-se que a alternativa com maior peso será a aquisição da borracha de protecção, com um peso de 38,66%, seguida da aquisição da membrana de contenção com um peso de 28,56%. Posteriormente tem-se a aquisição: da bomba P7; dos macacos; dos cantos; do tapete e por último do filtro. Com pesos de 14,33%, 7,31%, 5,15%, 3,81% e 2,17% respectivamente.

#### 4.3.4.1.1 *Análise de Consistência*

Antes de se avançar para a análise da alternativa seguinte, procedeu-se à análise de consistência lógica do critério Custo de Aquisição (CA).

Para tal, procedeu-se à verificação da consistência dos valores. Primeiramente procedeu-se ao produto da matriz de comparação com o vector prioridades do critério Custo de Aquisição, estando representado na Tabela 4-17.

**TABELA 4-17 - MATRIZ AUXILIAR PARA A ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA – CUSTO DE AQUISIÇÃO (CA)**

CA	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete	$w_i$	$Aw_i$
Filtro	1,0000	0,1111	0,1111	0,1429	0,2000	0,2500	0,3333	0,0217	0,1571
Membrana	9,0000	1,0000	0,5000	5,0000	6,0000	7,0000	7,0000	0,2856	2,4568
Borracha	9,0000	2,0000	1,0000	6,0000	7,0000	8,0000	8,0000	0,3866	3,2418
Bomba P7	7,0000	0,2000	0,1667	1,0000	4,0000	5,0000	5,0000	0,1433	1,1574
Macacos	5,0000	0,1667	0,1429	0,2500	1,0000	2,0000	3,0000	0,0731	0,5376
Cantos	4,0000	0,1429	0,1250	0,2000	0,5000	1,0000	2,0000	0,0515	0,3689
Tapete	3,0000	0,1429	0,1250	0,2000	0,3333	0,5000	1,0000	0,0381	0,2711

De seguida procedeu-se ao cálculo de  $\lambda_{max}$ .

$$\lambda_{max} = \frac{1}{7} \cdot \left( \frac{0,1571}{0,0217} + \frac{2,4568}{0,2856} + \frac{3,2418}{0,3866} + \frac{1,1574}{0,1433} + \frac{0,5376}{0,0731} + \frac{0,3689}{0,0515} + \frac{0,2711}{0,0381} \right) = 7,7042$$

Seguidamente procedeu-se ao cálculo do Índice de Consistência (IC):

$$IC = \frac{7,7042 - 7}{7 - 1} = 0,1174$$

Finalmente para o cálculo da razão de consistência (RC), foi considerado o *Random Index* (RI) da tabela de Saaty (1987) no valor de 1,32 relativo a uma matriz de ordem 7.

$$RC = \frac{0,1174}{1,32} = 0,0889 < 0,10$$

Face aos valores apresentados, verifica-se que as avaliações efetuadas são consistentes e homogéneas uma vez que o valor de RC é inferior a 0,10.

#### 4.3.4.2 *Resumo das definições de prioridades de critérios segundo as várias alternativas*

A presente subsecção tem como objectivo resumir os resultados obtidos das avaliações dos vários critérios, Custo de Aquisição, Lead Time de intervenção, Disponibilidade de Material e Tempo de Entrega, segundo as várias alternativas.

Pode verificar-se na Tabela 4-18 os vectores prioridades obtidos, após a avaliação das várias alternativas segundo cada critério.

**TABELA 4-18 - TABELA RESUMO DOS VECTORES PRIORIDADES SEGUNDO OS 4 CRITÉRIOS**

	CA	TE	LT	DM
Filtro	0.0217	0.0213	0.0315	0.0208
Membrana	0.2856	0.3041	0.3865	0.2584
Borracha	0.3866	0.3709	0.2918	0.3627
Bomba P7	0.1433	0.0857	0.0728	0.0361
Macacos	0.0731	0.1301	0.1504	0.1540
Cantos	0.0515	0.0374	0.0251	0.1013
Tapete	0.0381	0.0505	0.0419	0.0667

Posteriormente procedeu-se a respectiva avaliação de consistência das várias alternativas segundo os 4 critérios. A Tabela 4-19 resume as Razões de Consistência

dos vários critérios. Verifica-se que todos os valores se encontram a abaixo de 0,10 conforme o modelo de Saaty (1987).

**TABELA 4-19 - TABELA RESUMO DE RAZÕES DE CONSISTÊNCIA**

	$\lambda_{max}$	ICmax	RI	RC
CA	7,7042	0,1174	1,3200	0,0889
TE	7,7568	0,1261	1,3200	0,0956
LT	7,6470	0,1078	1,3200	0,0817
DM	7,7258	0,1210	1,3200	0,0916

#### 4.3.4.3 Definição de prioridades das alternativas

O presente capítulo estuda e resume o principal objectivo da metodologia AHP, a escolha e sequenciação das alternativas em que a Organização investirá o seu capital, para a aquisição de *sparcs* estratégicos para a prensa hidráulica.

**TABELA 4-20 - VECTOR PRIPORIDADES DAS VÁRIAS ALTERNATIVAS SEGUNDO OS VÁRIOS CRITÉRIOS**

	CA	TE	LT	DM	wi	VP	Ordem
Filtro	0.0217	0.0213	0.0315	0.0208	0.0545	0.0243	7°
Membrana	0.2856	0.3041	0.3865	0.2584	0.5768	0.3240	2°
Borracha	0.3866	0.3709	0.2918	0.3627	0.2944	0.3478	1°
Bomba P7	0.1433	0.0857	0.0728	0.0361	0.0744	0.0814	4°
Macacos	0.0731	0.1301	0.1504	0.1540		0.1348	3°
Cantos	0.0515	0.0374	0.0251	0.1013		0.0393	6°
Tapete	0.0381	0.0505	0.0419	0.0667		0.0485	5°

Após a implementação da metodologia AHP e a respectiva análise de consistência lógica, pode-se afirmar e ordenar as várias alternativas pela seguinte ordem:

1. O primeiro componente a adquirir será a Borracha de protecção, com um peso de 34,78%
2. O segundo componente a adquirir será a Membrana de contenção de óleo, com um peso de 32,40%
3. O terceiro componente a adquirir deverá ser o conjunto de macacos de elevação da prensa, com um peso de 13,48%
4. O quarto componente a adquirir será a Bomba P7, com um peso de 8,14%
5. O quinto componente em aquisição deverá ser o tapete de protecção, com um peso de 4,85%
6. O penúltimo componente a adquirir deverá ser o conjunto de cantos para o carro de prensagem, com um peso de 3,93%
7. Por último tem-se a aquisição do filtro do sistema hidráulico, com um peso de 2,43%

## 5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 CONCLUSÃO

Actualmente a manutenção tem tido um papel fundamental e de peso crescente nas Organizações. São cada vez mais os modelos desenvolvidos para o aumento de fiabilidade e rentabilidade dos equipamentos ou para a redução de custos de manutenção e de tempo de paragem. Evoluiu-se de métodos simplesmente correctivos para uma política de manutenção preventiva e preditiva.

Este trabalho teve como objectivo implementar e interligar três metodologias diferentes que se complementam para um propósito final, identificar os modos e efeitos de falha de um equipamento, identificar medidas preventivas e/ou correctivas para a sua redução e análise e priorização das medidas com necessidade de investimento, através das metodologias Bow-Tie, FMEA e AHP.

Considera-se a metodologia Bow-Tie bastante eficaz devido à sua simplicidade de implementação. Esta metodologia permitiu ter uma visão macro do cenário de falha e efeito da prensa hidráulica. O facto da sua construção e fundamento se basear numa ferramenta visual, permite ao avaliador ter uma noção dos vários modos de falha, e das consequências que o equipamento terá. Desta forma verificou-se ser uma excelente ferramenta como passo inicial para a implementação e desenvolvimento da metodologia FMEA.

Conclui-se também que a metodologia FMEA é uma excelente e completa ferramenta para a análise dos modos de falha e efeitos da prensa hidráulica. Com esta avaliação, foi possível ter uma noção do real estado do equipamento a nível de manutenção. Com esta avaliação foi possível ter o conhecimento de quais os modos de falha que terão uma consequência directa na produção e quais os modos de falha que apenas terão impacto na qualidade do produto, na segurança dos trabalhadores ou nos tempos de produção. O facto de se considerar uma ferramenta extremamente versátil, devido à sua vasta aplicabilidade em cenários e objectivos completamente diferentes, verificou-se que a metodologia FMEA poderá ser aplicada numa forma transversal nos vários departamentos da empresa, podendo mesmo passar a ser uma ferramenta de linguagem universal dentro da Organização.

Durante a implementação da metodologia FMEA verificaram-se algumas dificuldades na avaliação do RPN, uma vez que é necessário ter um conhecimento profundo do equipamento de forma a não deturpar a avaliação. Outra dificuldade que se verificou durante a classificação do RPN, foi a necessidade do avaliador poder ter a possibilidade de dar pesos diferentes aos factores de risco, esta possibilidade permitiria ao avaliador dar um maior peso ao factor de risco que considera mais importante, sendo que neste caso os factores de risco foram avaliados com igual peso.

Finalmente conclui-se que a metodologia AHP revelou ser uma metodologia objectiva, imparcial e de simples aplicação, como auxílio para a tomada de decisão. Neste

trabalho, esta metodologia foi implementada para a tomada de decisão e priorização das várias medidas preventivas oriundas da metodologia FMEA e que tinham um custo associado. Com esta metodologia, as ideias preconcebidas e a tendência do avaliador não são traduzidas para a avaliação final, uma vez que com as avaliações par-a-par, o avaliador deixa de ter essa capacidade. Como mais-valia desta metodologia, verificou-se que o resultado e a decisão final do avaliador são suportados pela análise de consistência lógica da aplicação do modelo. Este factor é extremamente importante uma vez o avaliador pode tomar a decisão de forma convicta, já que os seus resultados finais foram avaliados segundo a sua consistência e congruência de avaliação, esta situação remove quaisquer dúvidas em relação à sua subjectividade.

À semelhança da metodologia FMEA, conclui-se que a metodologia AHP é uma ferramenta prática e eficaz para a tomada de decisão com multicritérios, que poderá ser implementada de forma transversal à Organização como apoio na resolução de problemas com várias opções, nomeadamente, a escolha de fornecedores, materiais, recursos humanos, modelos de negócio, entre outros.

Face ao exposto, considera-se que o objectivo principal deste trabalho foi atingido com sucesso.

## **5.2 TRABALHOS FUTUROS**

O presente trabalho teve como objectivo a implementação de duas metodologias para o estudo dos modos de falha e redução do risco de uma prensa hidráulica, tendo sido aprofundados determinados aspectos considerados essenciais para a manutenção e aumento de fiabilidade dos equipamentos industriais. Numa lógica de complementaridade ao trabalho desenvolvido no âmbito da metodologia FMEA, sugere-se o desenvolvimento das análises dos modos de falha dos vários sub-processos e sub-conjuntos da prensa hidráulica, devendo ser abordado com rigor a avaliação dos modos de falha de motores eléctricos, bombas, válvulas, motores hidráulicos, entre outros.

Na fase inicial de desenvolvimento deste trabalho, houve uma análise preliminar sobre a metodologia de tomada de decisão a ser implementada. Entre várias metodologias, a escolha incidu entre a metodologia AHP e a metodologia *Fuzzy* TOPSIS. Uma vez que se considera que ambas as metodologias são bastante completas e eficazes no objectivo final, considera-se que seria interessante um estudo comparativo entre a metodologia AHP e a metodologia *Fuzzy* TOPSIS para a hierarquização dos componentes a adquirir para a prensa hidráulica.

Neste trabalho foram classificadas através da metodologia AHP as medidas com necessidade de investimento cujo RPN era igual ou superior a 320. Numa linha de continuidade do trabalho já desenvolvido, sugere-se a classificação das medidas com necessidade de investimento com níveis RPN inferiores a 320. Desta forma será possível ter uma total priorização e planeamento dos investimentos associados à prensa hidráulica.

## REFERÊNCIAS

- Alexander, M. (2012). Decision-making using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and SAS/IML, SESUG.
- Aslani, R. K., Feili, H. R. (2014). A hybrid of fuzzy FMEA-AHP to determine factors affecting alternator failure causes. *Management Science Letters*, 4, 1981-1984.
- Belton V. G. (1983). On a shortcoming os Saaty's method of analytic hierarchies. *Omega* 11(3), 227-230.
- Bertolini, M., & Bevilacqua, M. (2006). A combined goal programming - AHP approach to maintenance selection problem. *Reliability Engineering and system safety* , 839-828.
- Braglia, M. (2000). MAFMA: multi-atribute failure mode analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 17, 1017-1033.
- Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003). Fuzzy criticality assessment model for failure modes and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20, 503–524.
- Bhushan, N., Rai, K. (2004). Strategic Decision Making, Springer-Verlag London.
- Cabral, J. (2009) Gestão da Manutenção de Equipamentos, Instalações e Edifícios, Lidel - Edições Técnicas.
- Carnero, M. (2006). Na evaluation system of the setting up of predictive maintenance programs. *Reliability Engineering and System Safety*, 91, 945-963.
- CGE – Risk Management Solutions. [Consult. 11/2014], disponível em [www.cgerisk.com](http://www.cgerisk.com).
- Chang, K. H., & Cheng, C. H. (2011). Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 113–129.
- Chevreau, F. R., Wybo, J. L., and Cauchois, D. (2006). Organizing learning processes on risks by using the *Bow-Tie* representation. *Journal of Hazardous Materials* Vol. 130, No. 3, pp. 276-283.
- Chin, K. S., Chan, A., & Yang, J. B. (2008). Development of a fuzzy FMEA based product design system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36, 633–649.
- Chin, K. S., Wang, Y. M., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009). Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach. *Computers & Operations Research*, 36, 1768–1779.
- Costa, C. A., Vansnick, J. C. (2008). A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *European Journal of Operational Research*, 187, 1422-1428.

Couronneau, J. C., and Tripathi, A. (2004) Implementation of the New Approach of Risk Analysis in France, 41st International Petroleum Conference. Bratislava, 2003.

Coyle, G.(2004). The analytic hierarchy process (AHP), Pearson Education.

European Norm EN 15341:2007 – Maintenance key performance indicators

*Ford Motor Company* (1988). Potential failure mode and effects analysis (FMEA) reference manual.

Franceschini, F., & Galetto, M. (2001). A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA. *International Journal of Production Research*, 39, 2991–3002.

Gifford, M. J., Gilbert, S. M. and Barnes, I (2003). The Use of *Bow-Tie* Analysis in OME Safety Cases, ESAS 03.

Gomes, L.F., Araya, M.C. and Carignano, C. (2004). Tomada de decisões em cenários complexos. Thomson, 2004

Ishizaka, A. and A. Labib (2009). Analytic hierarchy process and expert choice: Benefits and limitations. *OR Insight*, vol. 22, 201-220

Kamble, V. S., Quazi, T. Z. (2014). FMEA of Shell moulding process and prioritizing by using AHP. *International Journal or Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, vol. 2 Issue 6, 161-176.

Leoni, C. T., Ulhoa, T. F. and Osiro, L (2015). Proposta de uso do FMEA para avaliação de riscos de fornecedores por meio da análise de múltiplos critérios XXXV Encontro nacional de engenharia de produção.

Lewis, S., and Smith, K. (2010). Lessons learned from real world application of the *Bow-Tie* method. 472-483.

Manual de manutenção ASEA fluid cell press QCF 280-100 (1983)

Manual de operação ASEA fluid cell press QCF 280-100 (1983)

Pillay, A., & Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, 79, 69–85.

Purton, L., Clothier, R., Kourousis, K. (2013). Assessment of Technical Airworthiness in Military Aviation: Implementation and Further advancement of the *Bow-Tie Model*” 3rd *International Symposium on Aircraft Airworthiness*, ISAA.

Saaty, T. (1987). The anality hierarchy process. What it is and how it is used. *Mathematical Modeling*, 9, 161-176.

Saaty, T. (1991) Método de análise hierárquica. McGraw-Hill (versão brasileira).

Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 22, 986–1004.

- Simonetti, M. J., Souza, A. L., Leandro, C. R., Trabachini, A., & Ell, S. M. (2010). A manutenção centrada na confiabilidade. Uma prática contemporânea.
- Siqueira, I. P. (2005). Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implantação. Rio de Janeiro: Qualitymark.
- Stamatis, D. H. (2003). Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. New York: ASQC Press.
- Vaidya, O.S. and S. Kumar (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1): p. 1-29
- Vilas Boas, C. D. (2006). Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da barragem do ribeirão João Leite. Dissertação final de Mestrado em Economia - Universidade de Brasília.
- Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert Systems with Applications*, 36, 1195–1207.
- Yang, J., Huang, H. Z., He, L. P., Zhu, S. P., & Wen, D. (2011). Risk evaluation in failure mode and effects analysis of aircraft turbine rotor blades using Dempster–Shafer evidence theory under uncertainty. *Engineering Failure Analysis*, 18, 2084–2092.

## **ANEXOS**

## Anexo I

### Definição de prioridades do critério Tempo de Entrega (TE)

#### COMPARAÇÃO PAR-A-PAR PARA DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO TEMPO DE ENTREGA (TE)

	1 semana	6 meses	6 meses	2 meses	3 meses	1 mês	1 mês 1/2
TE	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	1	1/8	1/9	1/6	1/7	1/3	1/4
Membrana	8	1	1/2	7	5	8	8
Borracha	9	2	1	8	5	7	7
Bomba P7	6	1/7	1/8	1	1/3	4	3
Macacos	7	1/5	1/5	3	1	5	4
Cantos	3	1/8	1/7	1/4	1/5	1	1/2
Tapete	4	1/8	1/7	1/3	1/4	2	1

#### MATRIZ AUXILIAR PARA A DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO TEMPO DE ENTREGA (TE)

TE	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	1,0000	0,1111	0,1111	0,1667	0,1429	0,3333	0,2500
Membrana	9,0000	1,0000	0,5000	7,0000	5,0000	8,0000	8,0000
Borracha	9,0000	2,0000	1,0000	8,0000	5,0000	7,0000	7,0000
Bomba P7	6,0000	0,1429	0,1250	1,0000	0,3333	4,0000	3,0000
Macacos	7,0000	0,2000	0,2000	3,0000	1,0000	5,0000	4,0000
Cantos	3,0000	0,1250	0,1429	0,2500	0,2000	1,0000	0,5000
Tapete	4,0000	0,1250	0,1429	0,3333	0,2500	2,0000	1,0000
Σ	39,0000	3,7040	2,2218	19,7500	11,9262	27,3333	23,7500

#### MATRIZ NORMALIZADA PARA A DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO TEMPO DE ENTREGA (TE)

TE	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	0,0256	0,0300	0,0500	0,0084	0,0120	0,0122	0,0105
Membrana	0,2308	0,2700	0,2250	0,3544	0,4192	0,2927	0,3368
Borracha	0,2308	0,5400	0,4501	0,4051	0,4192	0,2561	0,2947
Bomba P7	0,1538	0,0386	0,0563	0,0506	0,0279	0,1463	0,1263
Macacos	0,1795	0,0540	0,0900	0,1519	0,0838	0,1829	0,1684
Cantos	0,0769	0,0337	0,0643	0,0127	0,0168	0,0366	0,0211
Tapete	0,1026	0,0337	0,0643	0,0169	0,0210	0,0732	0,0421

### VECTOR PRIORIDADES SEGUNDO O CRITÉRIO TEMPO DE ENTREGA (TE)

TE	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete	VP
Filtro	0,0256	0,0300	0,0500	0,0084	0,0120	0,0122	0,0105	0,0213
Membrana	0,2308	0,2700	0,2250	0,3544	0,4192	0,2927	0,3368	0,3041
Borracha	0,2308	0,5400	0,4501	0,4051	0,4192	0,2561	0,2947	0,3709
Bomba P7	0,1538	0,0386	0,0563	0,0506	0,0279	0,1463	0,1263	0,0857
Macacos	0,1795	0,0540	0,0900	0,1519	0,0838	0,1829	0,1684	0,1301
Cantos	0,0769	0,0337	0,0643	0,0127	0,0168	0,0366	0,0211	0,0374
Tapete	0,1026	0,0337	0,0643	0,0169	0,0210	0,0732	0,0421	0,0505
								1,0000

Face aos valores apresentados, segundo o critério Tempo de Entrega (TE), verifica-se que a alternativa com maior peso será o tempo de entrega da borracha de protecção, com um peso de 37,09%, seguido do tempo de entrega da membrana de contenção com um peso de 30,41%. Posteriormente tem-se o tempo de entrega dos macacos; da bomba P7; do tapete, dos cantos e por último do filtro. Com pesos de 13,01%, 8,57%, 5,05%, 3,74% e 2,13% respectivamente.

### Análise de Consistência

#### MATRIZ AUXILIAR PARA A ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA – TEMPO DE ENTREGA (TE)

TE	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete	$w_i$	$A_{wi}$
Filtro	1,0000	0,1111	0,1111	0,1667	0,1429	0,3333	0,2500	0,0213	0,1542
Membrana	9,0000	1,0000	0,5000	7,0000	5,0000	8,0000	8,0000	0,3041	2,6349
Borracha	9,0000	2,0000	1,0000	8,0000	5,0000	7,0000	7,0000	0,3709	3,1222
Bomba P7	6,0000	0,1429	0,1250	1,0000	0,3333	4,0000	3,0000	0,0857	0,6477
Macacos	7,0000	0,2000	0,2000	3,0000	1,0000	5,0000	4,0000	0,1301	1,0602
Cantos	3,0000	0,1250	0,1429	0,2500	0,2000	1,0000	0,5000	0,0374	0,2649
Tapete	4,0000	0,1250	0,1429	0,3333	0,2500	2,0000	1,0000	0,0505	0,3625

De seguida procedeu-se ao cálculo de  $\lambda_{max}$ .

$$\lambda_{max} = \frac{1}{7} \cdot \left( \frac{0,1542}{0,0213} + \frac{2,6349}{0,3041} + \frac{3,1222}{0,3709} + \frac{0,6477}{0,0857} + \frac{1,0603}{0,1301} + \frac{0,2649}{0,0374} + \frac{0,3625}{0,0505} \right)$$

$$= 7,7568$$

Seguidamente procedeu-se ao cálculo do Índice de Consistência (IC):

$$IC = \frac{7,7568 - 7}{7 - 1} = 0,1261$$

Finalmente para o cálculo da razão de consistência (RC).

$$RC = \frac{0,1261}{1,32} = 0,0956 < 0,10$$

## Definição de prioridades do critério Lead Time de intervenção (LT)

### COMPARAÇÃO PAR-A-PAR PARA DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO LEAD TIME (LT)

	1 dia	1 mês e 1/2	1 mês	1 semana	2 semanas	imediatos	2 dias
LT	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	1	1/9	1/8	1/5	1/6	2	1/2
Membrana	9	1	2	7	6	9	8
Borracha	8	1/2	1	6	5	9	8
Bomba P7	5	1/7	1/6	1	1/4	3	2
Macacos	6	1/6	1/5	4	1	7	6
Cantos	1/2	1/9	1/9	1/3	1/7	1	1/2
Tapete	2	1/8	1/8	1/2	1/6	2	1

### MATRIZ AUXILIAR PARA A DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO LEAD TIME (LT)

LT	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	1,0000	0,1111	0,1250	0,2000	0,1667	2,0000	0,5000
Membrana	9,0000	1,0000	2,0000	7,0000	6,0000	9,0000	8,0000
Borracha	8,0000	0,5000	1,0000	6,0000	5,0000	9,0000	8,0000
Bomba P7	5,0000	0,1429	0,1667	1,0000	0,2500	3,0000	2,0000
Macacos	6,0000	0,1667	0,2000	4,0000	1,0000	7,0000	6,0000
Cantos	0,5000	0,1111	0,1111	0,3333	0,1429	1,0000	0,5000
Tapete	2,0000	0,1250	0,1250	0,5000	0,1667	2,0000	1,0000
$\Sigma$	31,5000	2,1567	3,7278	19,0333	12,7262	33,0000	26,0000

### MATRIZ NORMALIZADA PARA A DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO LEAD TIME (LT)

LT	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	0,0317	0,0515	0,0335	0,0105	0,0131	0,0606	0,0192
Membrana	0,2857	0,4637	0,5365	0,3678	0,4715	0,2727	0,3077
Borracha	0,2540	0,2318	0,2683	0,3152	0,3929	0,2727	0,3077
Bomba P7	0,1587	0,0662	0,0447	0,0525	0,0196	0,0909	0,0769
Macacos	0,1905	0,0773	0,0537	0,2102	0,0786	0,2121	0,2308
Cantos	0,0159	0,0515	0,0298	0,0175	0,0112	0,0303	0,0192
Tapete	0,0635	0,0580	0,0335	0,0263	0,0131	0,0606	0,0385

### VECTOR PRIORIDADES SEGUNDO O CRITÉRIO LEAD TIME (LT)

LT	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete	VP
Filtro	0,0317	0,0515	0,0335	0,0105	0,0131	0,0606	0,0192	0,0315
Membrana	0,2857	0,4637	0,5365	0,3678	0,4715	0,2727	0,3077	0,3865
Borracha	0,2540	0,2318	0,2683	0,3152	0,3929	0,2727	0,3077	0,2918
Bomba P7	0,1587	0,0662	0,0447	0,0525	0,0196	0,0909	0,0769	0,0728
Macacos	0,1905	0,0773	0,0537	0,2102	0,0786	0,2121	0,2308	0,1504
Cantos	0,0159	0,0515	0,0298	0,0175	0,0112	0,0303	0,0192	0,0251
Tapete	0,0635	0,0580	0,0335	0,0263	0,0131	0,0606	0,0385	0,0419
								1,0000

Face aos valores apresentados, segundo o critério Lead Time da intervenção (LT), verifica-se que a alternativa com maior peso será a intervenção na membrana, com um peso de 38,65%, seguida da intervenção na borracha de protecção com um peso de 29,18%. Posteriormente tem-se a intervenção dos macacos; da bomba P7; do tapete, do filtro e por último dos cantos. Com pesos de 15,04%, 7,28%, 4,19%, 3,15% e 2,51% respectivamente.

### Análise de Consistência

#### MATRIZ AUXILIAR PARA A ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA – TEMPO DE ENTREGA (TE)

TE	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete	$w_i$	$A_{wi}$
Filtro	1,0000	0,1111	0,1250	0,2000	0,1667	2,0000	0,5000	0,0315	0,2216
Membrana	9,0000	1,0000	2,0000	7,0000	6,0000	9,0000	8,0000	0,3865	3,2265
Borracha	8,0000	0,5000	1,0000	6,0000	5,0000	9,0000	8,0000	0,2918	2,4867
Bomba P7	5,0000	0,1429	0,1667	1,0000	0,2500	3,0000	2,0000	0,0728	0,5306
Macacos	6,0000	0,1667	0,2000	4,0000	1,0000	7,0000	6,0000	0,1504	1,1802
Cantos	0,5000	0,1111	0,1111	0,3333	0,1429	1,0000	0,5000	0,0251	0,1829
Tapete	2,0000	0,1250	0,1250	0,5000	0,1667	2,0000	1,0000	0,0419	0,3012

De seguida procedeu-se ao cálculo de  $\lambda_{max}$ .

$$\lambda_{max} = \frac{1}{7} \cdot \left( \frac{0,2216}{0,0315} + \frac{3,2265}{0,3865} + \frac{2,4867}{0,2918} + \frac{0,5306}{0,0728} + \frac{1,1802}{0,1504} + \frac{0,1829}{0,0251} + \frac{0,3012}{0,0419} \right)$$

$$= 7,6470$$

Seguidamente procedeu-se ao cálculo do Índice de Consistência (IC):

$$IC = \frac{7,6470 - 7}{7 - 1} = 0,1078$$

Finalmente para o cálculo da razão de consistência (RC).

$$RC = \frac{0,1078}{1,32} = 0,0817 < 0,10$$

**Definição de prioridades do critério Disponibilidade de Material no mercado (DM)**

**COMPARAÇÃO PAR-A-PAR PARA DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO DISPONIBILIDADE DE MATERIAL (DM)**

	Muitos	1 fornecedor	0,5 fornecedor	Vários	itens p/compra	2 fornecedores	3 fornecedores
DM	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	1	1/9	1/9	1/4	1/7	1/6	1/5
Membrana	9	1	1/2	8	3	4	5
Borracha	9	2	1	9	4	5	6
Bomba P7	4	1/8	1/9	1	1/6	1/5	1/4
Macacos	7	1/3	1/4	6	1	3	4
Cantos	6	1/5	1/5	5	1/3	1	3
Tapete	5	1/5	1/6	4	1/4	1/3	1

**MATRIZ AUXILIAR PARA A DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO DISPONIBILIDADE DE MATERIAL (DM)**

DM	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	1,0000	0,1111	0,1111	0,2500	0,1429	0,1667	0,2000
Membrana	9,0000	1,0000	0,5000	8,0000	3,0000	4,0000	5,0000
Borracha	9,0000	2,0000	1,0000	9,0000	4,0000	5,0000	6,0000
Bomba P7	4,0000	0,1250	0,1111	1,0000	0,1667	0,2000	0,2500
Macacos	7,0000	0,3333	0,2500	6,0000	1,0000	3,0000	4,0000
Cantos	6,0000	0,2500	0,2000	5,0000	0,3333	1,0000	3,0000
Tapete	5,0000	0,2000	0,1667	4,0000	0,2500	0,3333	1,0000
$\Sigma$	41,0000	4,0194	2,3389	33,2500	8,8929	13,7000	19,4500

**MATRIZ NORMALIZADA PARA A DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ALTERNATIVAS SEGUNDO O CRITÉRIO DISPONIBILIDADE DE MATERIAL (DM)**

DM	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete
Filtro	0,0244	0,0276	0,0475	0,0075	0,0161	0,0122	0,0103
Membrana	0,2195	0,2488	0,2138	0,2406	0,3373	0,2920	0,2571
Borracha	0,2195	0,4976	0,4276	0,2707	0,4498	0,3650	0,3085
Bomba P7	0,0976	0,0311	0,0475	0,0301	0,0187	0,0146	0,0129
Macacos	0,1707	0,0829	0,1069	0,1805	0,1124	0,2190	0,2057
Cantos	0,1463	0,0622	0,0855	0,1504	0,0375	0,0730	0,1542
Tapete	0,1220	0,0498	0,0713	0,1203	0,0281	0,0243	0,0514

### VECTOR PRIORIDADES SEGUNDO O CRITÉRIO LEAD TIME (LT)

LT	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete	VP
Filtro	0,0244	0,0276	0,0475	0,0075	0,0161	0,0122	0,0103	0,0208
Membrana	0,2195	0,2488	0,2138	0,2406	0,3373	0,2920	0,2571	0,2584
Borracha	0,2195	0,4976	0,4276	0,2707	0,4498	0,3650	0,3085	0,3627
Bomba P7	0,0976	0,0311	0,0475	0,0301	0,0187	0,0146	0,0129	0,0361
Macacos	0,1707	0,0829	0,1069	0,1805	0,1124	0,2190	0,2057	0,1540
Cantos	0,1463	0,0622	0,0855	0,1504	0,0375	0,0730	0,1542	0,1013
Tapete	0,1220	0,0498	0,0713	0,1203	0,0281	0,0243	0,0514	0,0667
								1,0000

Face aos valores apresentados, segundo o critério Disponibilidade de Material (DM), verifica-se que a alternativa com maior peso a identificação de fornecedor para a aquisição da membrana, com um peso de 36,27%, seguida da identificação de fornecedor para a borracha de protecção com um peso de 25,84%. Posteriormente tem-se a identificação de fornecedor para os macacos; para os cantos, para o tapete, para a bomba P7 e por último o filtro. Com pesos de 15,40%, 10,13%, 6,67%, 3,61% e 2,08% respectivamente.

### Análise de Consistência

#### MATRIZ AUXILIAR PARA A ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA – DISPONIBILIDADE DE MATERIAL (DM)

DM	Filtro	Membrana	Borracha	Bomba P7	Macacos	Cantos	Tapete	$w_i$	$A_{wi}$
Filtro	1,0000	0,1111	0,1111	0,2500	0,1429	0,1667	0,2000	0,0208	0,1511
Membrana	9,0000	1,0000	0,5000	8,0000	3,0000	4,0000	5,0000	0,2584	2,1163
Borracha	9,0000	2,0000	1,0000	9,0000	4,0000	5,0000	6,0000	0,3627	2,9142
Bomba P7	4,0000	0,1250	0,1111	1,0000	0,1667	0,2000	0,2500	0,0361	0,2545
Macacos	7,0000	0,3333	0,2500	6,0000	1,0000	3,0000	4,0000	0,1540	1,2636
Cantos	6,0000	0,2500	0,2000	5,0000	0,3333	1,0000	3,0000	0,1013	0,7951
Tapete	5,0000	0,2000	0,1667	4,0000	0,2500	0,3333	1,0000	0,0667	0,4994

De seguida procedeu-se ao cálculo de  $\lambda_{max}$ .

$$\lambda_{max} = \frac{1}{7} \cdot \left( \frac{0,1511}{0,0208} + \frac{2,1163}{0,2584} + \frac{2,9142}{0,3627} + \frac{0,2545}{0,0361} + \frac{1,2636}{0,1540} + \frac{0,7951}{0,1013} + \frac{0,4994}{0,0667} \right)$$

$$= 7,5268$$

Seguidamente procedeu-se ao cálculo do Índice de Consistência (IC):

$$IC = \frac{7,5268 - 7}{7 - 1} = 0,1210$$

Finalmente para o cálculo da razão de consistência (RC).

$$RC = \frac{0,1210}{1,32} = 0,0916 < 0,10$$