



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica



Manutenção Centrada na Fiabilidade Aplicada a Ativos Físicos Industriais

ANDERSON REIS DE JESUS
(Licenciado em Engenharia de Produção)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Júri:

Presidente:

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Vogais:

Doutor Luís António Andrade Ferreira

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Julho de 2021



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica

Manutenção Centrada na Fiabilidade Aplicada a Ativos Físicos Industriais

ANDERSON REIS DE JESUS
(Licenciado em Engenharia de Produção)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Júri:

Presidente:

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Vogais:

Doutor Luís António Andrade Ferreira

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Julho de 2021

*À Maria Rita que jamais permitiu que nos
sentíssemos sós.*

Agradecimentos

É chegada a hora de agradecer! Ser grato por todos aqueles que me impulsionaram, apoiaram e me mantiveram firme e confiante durante toda esta jornada.

A Portugal e ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL que me acolheu como estrangeiro que sou e me deixou totalmente à vontade e me sentindo em casa durante este período de estudos.

Ao professor Doutor José Augusto da Silva Sobral por ter aceitado ser meu orientador e ter se mostrado disponível e sempre me encorajando a continuar em um ano atípico em que se passa toda a humanidade.

Aos meus pais, que andaram em estradas de barro e as asfaltaram para que eu pudesse caminhar.

A minha inseparável e amada esposa, Priscilla Ramos, que me deu todo o suporte e incentivo necessário. Obrigado querida! Isso não seria possível sem você.

A todos os colegas do ISEL que partilharam comigo todas as emoções e os aprendizados adquiridos. Obrigado a todos!

Lista de Acrónimos

AHP	- <i>Analytic Hierarchy Process</i>
BM	- <i>Blank Missing in turret</i>
CF	- <i>Cover, Folding guide 1</i>
CI	- <i>Consistency Index</i>
CPS	- <i>Cyber-Physical Systems</i>
CR	- <i>Consistency Ratio</i>
CRI	- <i>Criticidade</i>
D	- <i>Deteção</i>
DT	- <i>Downtime</i>
EN	- <i>European Norm</i>
FMEA	- <i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
IAM	- <i>Institute of Asset Management</i>
IFBS	- <i>Inner Frame in Bending Station</i>
IOT	- <i>Internet of Things</i>
IPD1	- <i>Infeed Pusher, Drying Drum 1</i>
IPD2	- <i>Infeed Pusher, Drying Drum 2</i>
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
LU	- <i>Link Up</i>
MDF	- <i>Modo de Falha</i>
MIN	- <i>Minutos</i>
MTBF	- <i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	- <i>Mean Time To Repair</i>
OEE	- <i>Overall Equipment Effectiveness</i>
P	- <i>Prioridade</i>
PF	- <i>Potential Fault</i>
PGD	- <i>Packet Guide, Discharge</i>
PGP	- <i>Packet Guide, Packet</i>
PLC	- <i>Programmable Logic Controller</i>
PULL	- <i>Puxar</i>

QTD - Quantidade
RCM - *Reliability Centered Maintenance*
RI - *Random Index*
RPN - *Risk Priority Number*
S - Severidade
SBM - *S Blank Missing*

Resumo

Diante da necessidade cada vez mais rigorosa em se obter produtos e serviços cada vez melhores, processos produtivos otimizados e equipamentos disponíveis, as empresas têm buscado implementar em toda sua cadeia produtiva melhorias para deixar a sua entrega final mais competitiva. Para obter estes resultados as Organizações necessitam ter ativos disponíveis e para que isso ocorra, mantê-los da forma mais adequada e economicamente viável irá ajudar aos gestores e engenheiros na tomada de decisão. Uma das estratégias utilizadas na conservação de ativos físicos industriais é a Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) que há muito tempo é aplicada nas indústrias em geral, seja na aviação, mineração, em equipamentos biomédicos e mais recentemente, com uma nova revolução industrial – a Indústria 4.0, em veículos de transporte de passageiros autônomos.

O presente trabalho tem como objetivo identificar quais os modos de falha que têm maior impacto na disponibilidade do ativo, através da aplicação da metodologia RCM para determinar quais modos de falha devem ser priorizados e determinar a estratégia de manutenção mais adequada para cada um. Para suportar este estudo, foi aplicada a metodologia de análise e hierarquização de processos (AHP) a fim de organizar numa escala de valor os modos de falha.

O caso de estudo foi realizado em uma máquina que embala produtos de tabaco, utilizando-se dados reais de falha com os tempos de duração de cada paragem. Pretende-se ainda com este trabalho implementar um processo capaz de ser replicado a qualquer ativo físico industrial que possua dados de falha. Os resultados obtidos levaram a conclusão de que os modos de falha mais frequentes não foram os que geraram maior tempo de paragem. Ou seja, de acordo com a característica do ativo, existem modos de falhas com diferentes tempos de resolução e que a criação de um modelo aplicável a todos os ativos semelhantes existentes na Organização deverá passar por uma pré-análise dos modos de falha que são gerados, para melhor enquadrar o estudo às características específicas do ativo.

Palavras chave: FMEA, Manutenção, RCM, Gestão de Ativos, Emaçadora

Abstract

Facing the increasingly and rigorous need to obtain better products and services, optimized production processes and available equipment, companies have sought to implement improvements throughout their production chain to make their final delivery more competitive. To achieve these results, organizations need to have assets available and for this to occur, maintaining them in the most appropriate and economically viable way will help managers and engineers in decision making. One of the strategies used in the conservation of industrial physical assets is Reliability Centered Maintenance (RCM) that has been applied in industries in general, whether in aviation, mining, biomedical equipment and more recently, with a new industrial revolution – Industry 4.0, in autonomous passenger transport vehicles.

The present work aims to identify which failure modes have the greatest impact on asset availability, through the application of the RCM methodology to determine which failure modes should be prioritized and determine the most appropriate maintenance strategy for each. To support this study, was also applied the methodology Analytic Hierarchy Process (AHP) to organize the failure modes on a value scale.

The case study was carried out in a machine that packs tobacco products, using real failure data with the duration times of each downtime. It is also intended with this work to implement a process capable of being replicated to any industrial physical asset that has failure data. The results obtained led to the conclusion that the most frequent failure modes were not the ones that generated the longest downtimes. That is, according to the characteristic of the asset, there are failure modes with different resolution times and that the creation of a model applicable to all similar assets existing in the Organization should undergo a pre-analysis of the failure modes that are generated, to better frame the study to the specific characteristics of the asset.

Keywords: FMEA, Maintenance, RCM, Asset Management, Packer Machine

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Estrutura do documento	3
Capítulo 2 – Estado da Arte.....	4
2.1 Manutenção.....	4
2.2 Evolução histórica da manutenção.....	4
2.3 A quarta geração da manutenção: a indústria 4.0	6
2.4 Manutenção na indústria 4.0 - aplicações IoT	7
2.5 Tipos de manutenção	9
2.6 Conceitos associados à fiabilidade.....	10
2.6.1 Qualidade	12
2.6.2 Disponibilidade.....	12
2.6.3 Manutibilidade	13
2.6.4 Fiabilidade condicional ou de missão.....	13
2.6.5 Função taxa de avaria.....	13
2.6.6 Fiabilidade de sistemas	13
2.7 AHP - <i>Analytic Hierarchy Process</i>	14
2.7.1 Construção de hierarquias.....	15
2.7.2 Definição de prioridades e comparações par-a-par.....	15
2.7.3 Índice de consistência	16
2.7.4 Razões para escolha do AHP	17
Capítulo 3 – Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM)	19
3.1 Histórico e considerações iniciais.....	19
3.1.1 Função e padrão de desempenho	21

3.1.2	Modos de falha.....	21
3.1.3	Efeitos da falha	22
3.1.4	Consequência da falha	23
3.1.5	Padrão de falhas	23
3.1.6	Curva PF	25
3.1.7	Viabilidade técnica e económica	26
3.2	Implementação da metodologia RCM	27
3.2.1	Princípios da metodologia RCM.....	27
3.2.2	FMEA	28
3.2.3	Diagrama de decisão de RCM	29
3.2.4	Benefícios da implementação da metodologia RCM.....	32
3.2.5	Áreas de aplicação da metodologia RCM.....	33
Capítulo 4 - Ativos Físicos Industriais		34
4.1	Ativos físicos	34
4.1.1	Gestão de ativos	34
4.1.2	Sistema de gestão de ativos.....	36
4.1.3	A metodologia RCM e a sua relação com a gestão de ativos	37
Capítulo 5 – Caso de Estudo		39
5.1	Enquadramento	39
5.2	Zonas de função do ativo	40
5.2.1	Zona I - Alimentação e arrumação dos cigarros	41
5.2.2	Zona II - Alimentação e corte de papel interno	42
5.2.3	Zona III - Alimentação, vincagem e corte do papel de reforço	44
5.2.4	Zona IV - Alimentação do rótulo e aplicação de cola	46

	5.2.5 Zona V – Dobragem.....	48
	5.2.6 Zona VI - Transporte final e secagem dos maços.....	49
	5.3 Recolha e análise dos dados.....	51
	5.3.1 Análise dos dados:	51
	5.4 Aplicação da metodologia RCM.....	56
	5.5 FMEA	70
	5.6 Aplicação do AHP	72
	5.6.1.1 Construção da hierarquia.....	72
	5.6.1.2 Consistência lógica.....	81
	5.7 Interpretação dos resultados.....	82
	5.8 Cinco porquês	83
	5.9 Diagrama de decisão	86
6	Capítulo 6 - Conclusões e Trabalhos Futuros.....	89
	6.1 Conclusões	89
	6.2 Trabalhos futuros	90
7	Referências Bibliográficas	92

Índice de Figuras

<i>Figura 1</i> - Técnicas de manutenção em modificação	6
<i>Figura 2</i> - Ferramentas tecnológicas da indústria 4.0	7
<i>Figura 3</i> - Probabilidade de falha ou sucesso de uma variável aleatória	11
<i>Figura 4</i> - Representação diagramática das causas de falha na hierarquia do AHP	15
<i>Figura 5</i> - Os seis diferentes padrões de falha	24
<i>Figura 6</i> – Curva PF	25
<i>Figura 7</i> - Avaliação da fiabilidade e o custo de produção	26
<i>Figura 8</i> - Formulário análise FMEA	29
<i>Figura 9</i> - Diagrama de decisão de RCM (fluxograma 1)	30
<i>Figura 10</i> - Diagrama de decisão de RCM (fluxograma 2)	31
<i>Figura 11</i> - Principais chaves e atributos da gestão de ativos	35
<i>Figura 12</i> - Visão geral do ativo (emaçadora)	40
<i>Figura 13</i> - Alimentação e disposição dos cigarros	42
<i>Figura 14</i> - Alimentação e cortar papel metalizado	44
<i>Figura 15</i> - Alimentação, vincagem e corte do <i>inner frame</i> – reforço	46
<i>Figura 16</i> - Alimentação do rótulo e aplicação de cola	47
<i>Figura 17</i> – Dobragem final	49
<i>Figura 18</i> - Transporte final e secagem dos maços	50
<i>Figura 19</i> – Visão geral do <i>link up</i>	51
<i>Figura 20</i> - MDF que mais geraram tempo de paragem ao ativo	52
<i>Figura 21</i> - Zona de funções do ativo que mais geraram paragens em relação aos 80% mais representativos	55
<i>Figura 22</i> - Zona de funções do ativo que mais geraram DT em relação aos 80% mais representativos	56
<i>Figura 23</i> - Hierarquia de decisão	73
<i>Figura 24</i> – Resultado da hierarquização dos MDF	82

Índice de Tabelas

Tabela 1- Descrição das variáveis de fiabilidade	12
Tabela 2 - Níveis de importâncias de comparação	16
Tabela 3 - Valores de RI para diferentes ordens de matriz	17
Tabela 4 - Proporcionalidade entre padrões e probabilidades condicionais de falha	25
Tabela 5 - Análise dos MDF com maior número de acontecimentos	53
Tabela 6 - Dados dos DT dos MDF que representam 80% das falhas funcionais	53
Tabela 7 - Quantidade de paragens geradas por cada Zona	54
Tabela 8 - DT gerado por cada MDF	55
Tabela 9 - Sete questões básicas contempladas pela metodologia RCM	69
Tabela 10 – Severidade do feito da falha	71
Tabela 11 – Probabilidade de ocorrência de falha	71
Tabela 12 – Probabilidade de deteção da falha	72
Tabela 13 - Matriz de classificação de criticidade	72
Tabela 14 - FMEA dos principais MDF	71
Tabela 15 - Nomenclaturas das alternativas em análise	73
Tabela 16 - Nomenclatura dos critérios em análise	73
Tabela 17 - Matriz comparação de critérios	74
Tabela 18 - Matriz comparação de critérios normalizada	74
Tabela 19 – Matriz comparação critério severidade	75
Tabela 20 - Matriz comparação critério severidade normalizada	75
Tabela 21 - Comparação critério ocorrência	76
Tabela 22 - Matriz comparação critério ocorrência normalizada	76
Tabela 23 - Matriz comparação critério deteção	76
Tabela 24 - Matriz comparação critério deteção normalizada	77
Tabela 25 - Matriz comparação critério DT	77
Tabela 26 - Matriz comparação critério DT normalizada	77
Tabela 27 - Matriz comparação critério paragens	78
Tabela 28 - Matriz comparação critério paragens normalizada	78
Tabela 29 - Matriz comparação critério tempo de resolução	78

Tabela 30 - Matriz comparação critério tempo de resolução normalizada	79
Tabela 31 - Matriz comparação critério rejeição	79
Tabela 32 - Matriz comparação critério rejeição normalizada	79
Tabela 33 - Matriz comparação critério produtos conformes	80
Tabela 34 - Matriz comparação critério produtos conformes normalizada	80
Tabela 35 - Cálculo do peso dos MDF em relação aos critérios	80
Tabela 36 - Cinco porquês das causas dos MDF	84
Tabela 37 – Diagrama de decisão	88

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Enquadramento

A necessidade de se obter processos produtivos mais fiáveis, a alta concorrência e os custos operacionais com margens cada dia menores fazem com que engenheiros e técnicos sejam desafiados a todo o momento em encontrar soluções para temas essenciais na indústria mundial. Dentre vários, destaca-se a Manutenção de Ativos Físicos Industriais uma vez que, garantir a sua disponibilidade requer o conhecimento do padrão de falhas de equipamentos ou instalações. Esse padrão poderá ajudar no direcionamento do processo de manutenção a ser adotado. Uma das metodologias mais utilizadas pela indústria em geral é a Manutenção Centrada na Fiabilidade. Esta metodologia estuda os dados de falhas de um ativo e a consequência desta avaria para assegurar que o ativo cumpra com o desempenho da sua função (Moubray, 1998).

Para muitas organizações a gestão de ativos será a próxima fronteira na criação de valor e redução de riscos e será imperativo no seu ramo de negócios. Independentemente do seu tamanho, a organização deverá encontrar uma ou mais formas adequadas ao seu caso na adoção da gestão de ativos. Com isso, alguns benefícios podem ser avaliados e quantificados como, por exemplo, a redução de capital investido em custos de manutenção, aumento da disponibilidade do ativo e a redução da exposição ao risco (*Institute of Asset Management, 2015*).

Associar a gestão de ativos com a metodologia RCM é justamente o objetivo deste trabalho. Perceber o impacto das diversas variáveis de um processo de fabrico e de como a fiabilidade pode afetar diretamente os resultados organizacionais e como um trabalho direcionado para a eliminação das consequências das falhas irá permitir que o ativo cumpra o papel esperado. Para Kececioglu (2002), a fiabilidade é a melhor medida quantitativa no projeto de integridade de peças, componentes, produtos ou sistemas. Fiabilidade é a probabilidades de peças, componentes, produtos ou sistemas serem projetados sem falhas por um determinado período com um determinado grau de confiança.

Portanto, uma vez conhecidos estes períodos de falhas, a metodologia RCM irá trabalhar na antecipação, correção, mitigação e até mesmo no bloqueio da mesma. Para isso, serão utilizadas

ferramentas como a FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) para se perceber todos os modos de falhas e suas consequências, o *Analytic Hierarchy Process* – AHP para criar uma hierarquia dos vários modos de falhas existentes, bem como uma análise de Cinco Porquês para se chegar o mais próximo possível da causa raiz dos modos de falhas.

1.2 Objetivo

O objetivo do presente trabalho é propor a delimitação de um plano de manutenção através do desenvolvimento da Manutenção Centrada na Fiabilidade para prevenir os modos de falhas mais recorrentes e mitigar aqueles que não podem ser evitados através da recolha, análise, discretização e hierarquização dos modos de falhas para posterior análise dos seus efeitos até se chegar à causa raiz. Para se perceber quais modos de falhas causam maiores impactos ao ativo, tentou-se explorar outras potencialidades deste processo, indo ao encontro de uma manutenção proactiva no sentido de se tentar conhecê-los bem e quais são os mais relevantes, para antecipar a sua ocorrência. Tendo em conta o objetivo e complexidade inerente ao tema de investigação bem como as restrições associadas a uma dissertação de mestrado, este trabalho terá como foco principal demonstrar como a metodologia RCM poderá contribuir para uma maior disponibilidade de ativos físicos industriais ao se conhecer os seus modos de falhas, a sua causa raiz e quais as melhores políticas de manutenção que deverão ser executadas para antecipar, minimizar ou até mesmo, eliminar a falha. Para isso, será necessário descrever alguns conceitos da metodologia RCM, ativos físicos industriais, manutenção, fiabilidade e a metodologia AHP. Este conjunto de conhecimentos servirá de base sólida no desenvolvimento de um modelo aplicável a qualquer ativo físico industrial, no qual o seu padrão de falha seja conhecido. Para comprovar e suportar este objetivo, será realizado um caso de estudo em um ativo físico industrial de uma fábrica, com dados factuais, utilizando-se dados de falhas compreendidos entre janeiro e julho de 2020. Por se tratar de dados de falhas atuais e de existência comprovada e o equipamento em questão está em plena operação, será mantida a confidencialidade da proveniência, protegendo e garantindo o anonimato de informações pormenorizadas, sendo estes dados gentilmente confiados pelo corpo técnico da referida organização.

1.3 Estrutura do documento

A dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos subdividindo o tema, para que o leitor possa perceber os conceitos básicos sobre manutenção, gestão de ativos físicos, fiabilidade, RCM, AHP e por fim o caso de estudo onde todos estes conceitos serão utilizados forma direta ou indireta.

No Capítulo 1 faz-se o enquadramento do tema relacionando a necessidade das organizações em manter seus ativos com o ganho obtido em disponibilidade, fiabilidade, segurança das operações e em se utilizar a metodologia RCM. Isso conduzirá ao objetivo do trabalho, que é o de se criar um modelo que se ajuste a qualquer ativo físico industrial em que possua dados de falha.

No Capítulo 2 são abordados os conceitos de manutenção e o papel da metodologia RCM na evolução da manutenção, passando-se pela indústria 4.0 e tópicos relevantes sobre fiabilidade. O objetivo deste capítulo é demonstrar tópicos que servirão de base para o caso de estudo.

O Capítulo 3 refere-se aos conceitos básicos sobre a caracterização da metodologia RCM, sua evolução histórica, princípios da metodologia e as ferramentas de suporte para aplicação da metodologia tais como, a FMEA, o diagrama de decisão, os benefícios e as áreas de aplicação da metodologia RCM.

No Capítulo 4 faz-se referência a gestão de ativos físicos industriais e sistemas de gestão de ativos.

O Capítulo 5 aborda o caso de estudo, identificando, dentre os dados de paragens recolhidos, quais possuem maior impacto para que o ativo cumpra com sua função além de se criar uma hierarquia de modos de falhas, através do método AHP. Esta análise irá levar às melhores práticas de manutenção para um ativo físico relevante para a indústria do tabaco, onde será proposto um modelo aplicável a qualquer ativo que possua histórico de falhas.

Por fim, o Capítulo 6 traz as considerações finais e algumas direções a serem abordadas em trabalhos futuros.

Capítulo 2 – Estado da Arte

2.1 Manutenção

O tema manutenção sempre teve relevante importância na indústria mundial uma vez que a sua correta execução poderá posicionar estrategicamente de forma positiva a organização que aplicar os seus conceitos pois, para que as empresas permaneçam competitivas a otimização dos processos de manutenção é um dos principais pilares na busca da redução dos custos de produtividade de uma empresa.

Segundo a EN 13306:2017 (BSI, 2017) a manutenção é a combinação de todas as ações técnicas¹ e de gestão administrativa durante o ciclo de vida de um item com objetivo em mantê-lo ou repô-lo, num estado em que se possa executar a sua função requerida. Decidir o como, quando, quanto irá custar e até que ponto valerá a pena realizar atividades de manutenção num ativo, deverá sempre ser objetivo de avaliação dos gestores de manutenção para que a tomada de decisão seja suportada por indicadores como índice de produtividade, tempo de disponibilidade do ativo, tempo de retorno do investimento na atividade de reparação e o tipo de manutenção mais adequada a cada item².

2.2 Evolução histórica da manutenção

Desde os anos 30 a manutenção vem ganhando acréscimos através de pesquisas e estudos em que cada geração procurou atender às necessidades de cada momento.

➤ Primeira geração

¹ Ações de manutenção técnica incluem observação e análise do estado do item (por exemplo, inspeção, monitorização, teste, diagnóstico, prognóstico etc.) e ações de manutenção ativa (por exemplo, reparação, substituição).

² Parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que pode ser individualmente descrito e considerado.

A primeira geração abrange o período até a II Guerra Mundial onde a indústria era totalmente mecanizada e os períodos de recuperação de falhas não eram muito importantes, significando que a prevenção contra falha dos equipamentos não era uma prioridade.

➤ Segunda geração

Com o aumento das pressões do período de guerra aumentou-se a procura por bens de todos os tipos, vindo a aumentar a mecanização das máquinas sendo-as mais complexas e mais numerosas. Este incremento elevou a importância do tempo de paralisação dos equipamentos procurando quais as suas falhas deveriam ser evitadas.

A partir de então, temas como custos de manutenção, planeamento e controlo passaram a ser parte integrante da prática de manutenção.

➤ Terceira geração

A partir da década de setenta o *Downtime* passou a ser utilizado face ao modelo de *Just in Time* e por consequência a redução de *stocks* significaria que pequenas paragens de produção poderiam resultar em parar toda a instalação. Por consequência do crescimento da mecanização, a automação passou a indicar que fiabilidade e disponibilidade se tornassem peças chaves em setores como o da saúde, telecomunicações e processamento de dados. Esta mudança de paradigma alterou a crença básica sobre idade e falha evidenciando que haveria relação entre a idade operacional da maioria dos itens e a probabilidade deles falharem.

Naquele momento, novas técnicas e novos conceitos de manutenção passaram a ser utilizados. A metodologia RCM surge e traz consigo o desafio em aprender não apenas quais as técnicas a serem utilizadas e sim, decidir quais serão úteis ou não de acordo com cada modelo de organização (Moubray, 1998). A Figura 1 mostra como a abordagem clássica de reparação e a sua evolução até à utilização de indicadores de manutenção chegando até à análise de fiabilidade, relação custo benefício e a gestão de ativos.

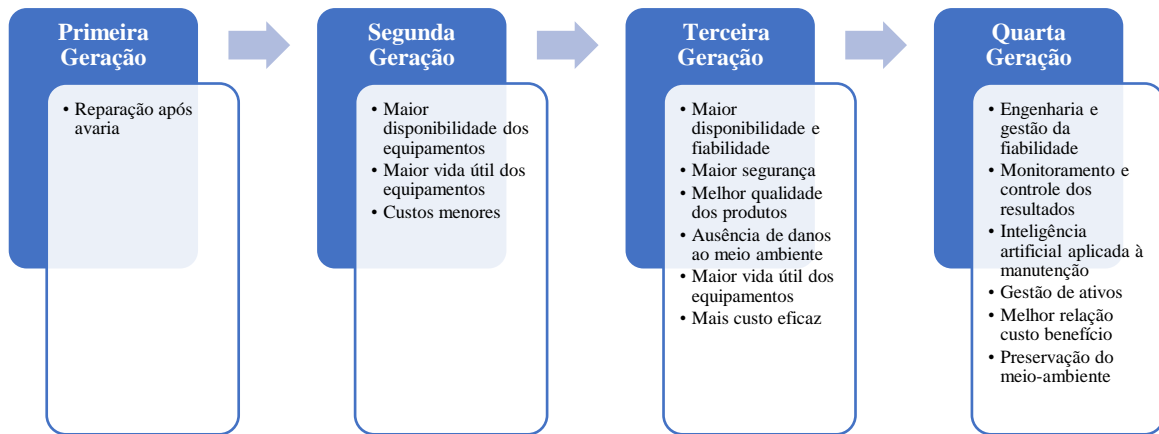


Figura 1 - Técnicas de manutenção em modificação
 Fonte: Elaboração própria, adaptado de Moubray (1998).

2.3 A quarta geração da manutenção: a indústria 4.0

A Indústria 3.0 focava-se na automatização de máquinas e processos, a Indústria 4.0 foca-se na total digitalização dos ativos físicos e na sua integração em ecossistemas digitais com os vários parceiros da cadeia de valor. Gerar, analisar e comunicar a informação é fundamental para fundamentar os ganhos que advêm da Indústria 4.0, que alia uma grande variedade de novas tecnologias na procura da criação de valor às empresas e que a indústria 4.0 é dividida nos seguintes fatores (Correia, Deus & Baptista, 2016):

➤ Digitalização e integração das cadeias de valor

A Indústria 4.0 vem promover a digitalização e integração dos processos verticais em toda a organização, desde o desenvolvimento do produto e compras, até à produção, logística e serviços. Toda a informação gerada acerca dos processos operacionais, eficiência e a gestão da qualidade, bem como o planeamento operacional, estão disponíveis em tempo real suportados por realidade aumentada e otimizada numa rede integrada.

➤ Digitalização de produtos e serviços

A digitalização de produtos inclui a expansão dos produtos existentes. Por exemplo, através da adição de sensores inteligentes ou dispositivos de comunicação que possam ser utilizados em

cooperação com ferramentas de análise de dados, bem como, a criação de novos produtos digitais que se foquem em soluções completamente integradas.

➤ Modelos de negócio digitais e acesso do consumidor

As empresas Industriais líderes, também diversificam a sua oferta ao oferecerem soluções digitais disruptivas, tais como, serviços baseados em dados e soluções de plataformas integradas. Estes modelos de negócios estão geralmente focados em gerar receitas digitais adicionais e a otimizar a interação e o acesso dos consumidores. A Figura 2 ilustra bem onde a Indústria 4.0 possui aplicação direta.



Figura 2 - Ferramentas tecnológicas da indústria 4.0
Fonte: (Correia, Deus & Baptista, 2016)

2.4 Manutenção na indústria 4.0 - aplicações IoT

O advento de futuras tecnologias de internet, incluindo computação em nuvem e a Internet das coisas (IoT), fornecem suporte essencial para cumprir estes requisitos e aumentar a eficiência e o desempenho dos processos da fábrica. Hoje os fabricantes estão cada vez mais implantando a

Internet do Futuro (FI) tecnologias como computação em nuvem, IoT e sistemas ciber-físicos (CPS) no chão de fábrica. Essas tecnologias estão no cerne da quarta revolução industrial (Soldatos, 2016).

Uma abordagem que será beneficiada com esta evolução são as atividades e os procedimentos de manutenção que estão sempre em alta pressão dos níveis de gestão de topo de uma empresa de fabrico para garantir a redução de custos, mantendo as perfeitas condições de trabalho das máquinas e equipamentos instalados em um sistema de produção e para garantir um certo grau de continuidade no processo produtivo e – no mesmo tempo - a segurança das pessoas que fazem parte dela.

Para fazer isso, várias políticas e estratégias foram definidas, desenvolvidas e adotadas, nomeadamente as estratégias proativas de manutenção. As fábricas do futuro poderão implantar estratégias proativas de manutenção com aplicações 4.0, seja no todo ou em parte do sistema produtivo, adaptando sistemas menos flexíveis em customizações intermediárias no sistema. Soldatos, (2016) vai afirmar que as atuais soluções de monitoramento e controle industrial são extremamente "orientadas a bits" tornando difícil e doloroso o processo de prever falhas e detetar causas, conforme texto a seguir:

A implementação bem-sucedida de estratégias proativas de manutenção depende estritamente da disponibilidade de uma infraestrutura de monitoramento eficiente e eficaz que possa coletar dados operacionais relevantes da combinação máquina/equipamento e analisar esses dados para identificar possíveis avarias e suas causas básicas. No entanto, as atuais soluções de monitoramento e controle industrial são extremamente "orientadas a bits" tornando difícil e doloroso o processo de prever falhas e detetar causas. No entanto, as empresas manufactureiras estão apostando na aplicação de soluções inteligentes e mais integradas de monitoramento e controlo para reduzir problemas de manutenção, tempos de inatividade da linha de produção e redução dos custos operacionais da linha de produção, ao mesmo tempo em que garantem uma gestão mais eficiente dos recursos de fabrico. Nesse contexto, as tecnologias de IoT/CPS podem permitir o projeto e o desenvolvimento de estratégias avançadas de monitoramento e, portanto, políticas de manutenção, adicionando recursos de monitoramento a máquinas e equipamentos industriais que disponibilizam funcionalidades de tecnologias baseadas em IoT/CPS podendo ser implantadas para fornecer mais dados sobre máquinas e equipamentos durante sua operação. Essas informações podem ser usadas para modelar a máquina/equipamento e o comportamento na causa da deteção de falhas. (Soldatos, 2016).

2.5 Tipos de manutenção

A manutenção assume hoje um papel importantíssimo no contexto industrial influenciando diretamente a produtividade e os custos de fabrico. Com a finalidade básica de manter os equipamentos disponíveis a maior parte do tempo e a custos mais baixos possíveis, a manutenção poderá utilizar-se de diferentes estratégias a depender do estado do ciclo de vida do ativo em questão. Segundo a EN 13306:2017 (BSI, 2017), a manutenção é definida com os seguintes tipos:

- Manutenção preventiva - manutenção realizada com o objetivo de avaliar e / ou para diminuir a degradação e reduzir a probabilidade de falha de um item.
- Manutenção sistemática - manutenção preventiva realizada de acordo com intervalos de tempo³ estabelecidos ou número de unidades de uso, mas sem condição prévia de investigação.
- Manutenção baseada na condição - manutenção preventiva que inclui avaliação das condições físicas, análise e as possíveis ações de manutenção subsequentes. A avaliação da condição pode ser pela observação do operador, e / ou inspeção, e / ou teste e / ou monitorização da condição do sistema conduzido de acordo com um cronograma, em solicitação ou contínua.
- Manutenção preditiva - manutenção baseada em condição realizada seguindo uma previsão derivada de repetidas análises ou características e avaliação conhecidas dos parâmetros significativos de degradação do item.
- Manutenção ativa - parte da manutenção em que as ações são diretamente realizadas em um item para retê-lo ou restaurá-lo para um estado em que ele possa executar a função requerida.
- Melhoria da fiabilidade - combinação de todos os aspetos técnicos, administrativos e ações de gestão, destinadas a melhorar a fiabilidade intrínseca e / ou manutibilidade e / ou segurança de um item, sem alterar a original função.

³ Intervalos de tempos ou número de unidades pode ser estabelecido a partir do conhecimento dos mecanismos de falha do item.

- Manutenção corretiva - manutenção realizada após o reconhecimento de falhas e destinado a restaurar um item num estado em que pode executar uma função necessária.
- Manutenção corretiva imediata - manutenção corretiva que é realizada sem demora após a detecção de uma falha para evitar consequências inaceitáveis.
- Manutenção programada - manutenção realizada de acordo com um cronograma específico ou número de unidades de uso.
- Manutenção por oportunidade - manutenção preventiva ou manutenção corretiva diferida, realizada sem agendamento, ao mesmo tempo que outras ações de manutenção ou eventos específicos para reduzir custos, indisponibilidade, etc.
- Manutenção remota - manutenção de um item realizado sem acesso físico do pessoal ao item.
- Manutenção online - manutenção realizada no item enquanto ele estiver operacional e sem impacto no seu desempenho.
- Manutenção no local - manutenção realizada no local onde o item normalmente é usado ou armazenado.
- Manutenção autónoma do operador - ação de manutenção executada por um operador.
- Terceirização de manutenção - contratação total ou parcial das atividades de manutenção de uma organização, por um período determinado.

2.6 Conceitos associados à fiabilidade

O conceito de fiabilidade vem sendo aplicado na engenharia, onde adquiriu um significado tecnológico após o término da Primeira Guerra Mundial sendo utilizado para comparar a utilização de aviões com um, dois ou três motores. Já na Segunda Guerra, os estudos foram direcionados no desenvolvimento de mísseis onde, após estudos do matemático Robert Lusser constatou-se que um equipamento com componentes em série teria a sua probabilidade de falhar

sendo como o produto das fiabilidades das partes ou componentes. Entre a década de 50 e 60 o interesse dos norte-americanos no desenvolvimento de mísseis intercontinentais e a corrida para ser a primeira nação a enviar uma missão tripulada a lua motivou avanços na área da fiabilidade envolvendo riscos humanos. A partir daí, estudos associados a operações de instalações nucleares, e depois aplicações associadas à engenharia de produção, consolidaram as aplicações da fiabilidade.

Kececioglu (2002) assegura que a fiabilidade é a probabilidade condicional, com um dado nível de confiança que o equipamento tem suas funções pretendidas satisfeitas ou sem falha dentro dos limites de desempenho especificados, em uma determinada idade, para uma duração especificada, período de função, ou quando o tempo de missão é usado de maneira correta e para a finalidade pretendida ao operar-se a aplicação especificada em um ambiente de operação com seu nível de esforço associado. Fogliatto (2011) afirma que em seu sentido mais amplo, a fiabilidade está associada à operação bem-sucedida de um produto ou sistema na ausência de quebras ou falhas. Em análises de engenharia, todavia, é necessária uma definição quantitativa de fiabilidade, em termos de probabilidade. O autor também se refere à fiabilidade como uma probabilidade. Isso significa que todas as fiabilidades devem apresentar valores entre 0 e 1 e que os axiomas clássicos da probabilidade podem ser aplicados em cálculos de fiabilidade. A função de fiabilidade confere a probabilidade de sucesso de uma unidade em um tempo conforme representado na Figura 3.

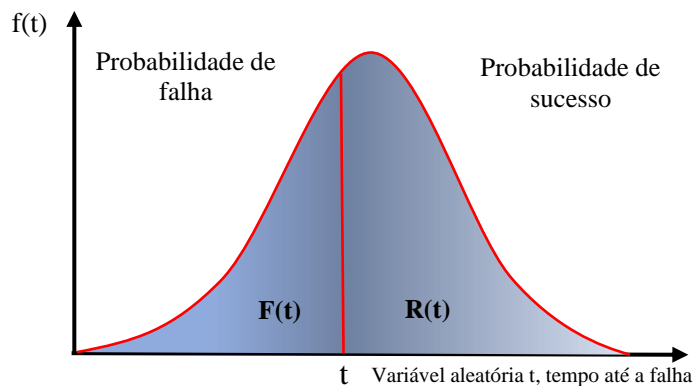


Figura 3 - Probabilidade de falha ou sucesso de uma variável aleatória
Fonte: Elaboração própria, adaptado de ReliaSoft (2015).

A definição mais usual de fiabilidade de uma unidade (componente ou sistema) é dada em termos de sua probabilidade de sobrevivência até um tempo t de interesse (Fogliatto, 2011). Deve-se então, conhecer a distribuição de probabilidade mais ajustada aos tempos de avarias. Na Tabela 1 apresentam-se algumas funções utilizadas no cálculo de fiabilidade:

Tabela 1- Descrição das variáveis de fiabilidade

Função	Descrição	Equação
Densidade de Probabilidade	Varição da probabilidade de avarias por unidade de tempo	$f(t) = \frac{dF(t)}{d(t)}$
Função Acumulada de Avarias	Probabilidade de avaria em um período de tempos Δt	$F(t_2) - F(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) \cdot dt$
Fiabilidade	Probabilidade de um item sobreviver em um intervalo de tempo	$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_{-\infty}^t f(t)dt = 1 - F(t)$

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Fogliatto (2011).

2.6.1 Qualidade

Os conceitos de qualidade e fiabilidade são comumente confundidos. A fiabilidade incorpora a passagem do tempo diferentemente da qualidade que consiste em uma análise estática do item. A definição de qualidade pode ser subdividida em duas partes: a capacidade de projetar produtos que incorporem características que atendam às necessidades dos utilizadores. Um outro aspeto está associado à qualidade como redução da variabilidade (Fogliatto, 2011). Em ambos os conceitos leva-se em consideração as características e aspetos de um produto que tornam possíveis a satisfação das necessidades implícitas e explícitas associadas ao produto, ou seja, o cumprimento das especificações de um projeto de manufatura com a menor variabilidade possível.

2.6.2 Disponibilidade

Corresponde a capacidade de um item, reparável, mediante manutenção apropriada, desempenhar a sua função requerida num determinado instante de tempo predeterminado. Em unidades não-reparáveis os conceitos de disponibilidade e fiabilidade se equivalem (Fogliatto,

2011). Em nova condição, supõe-se que uma vez reparado, devolve-se a unidade à condição de nova e trabalha-se com um valor médio de disponibilidade como mostra a equação (1):

$$A = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (1)$$

Onde, A é a disponibilidade média, MTTF o tempo médio entre avarias e MTTR o tempo médio para reparação.

2.6.3 Manutibilidade

Capacidade de um ativo ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, quando submetido a manutenção sobre condições predeterminadas.

2.6.4 Fiabilidade condicional ou de missão

A fiabilidade condicional é a probabilidade de se completar com sucesso outra missão após a conclusão bem-sucedida de uma missão anterior. O tempo da missão anterior e o tempo para a missão a realizar devem ser tidos em conta para os cálculos de fiabilidade condicional. A função de fiabilidade condicional é dada por:

$$R(T, t) = \frac{R(T+t)}{R(T)} \quad (2)$$

2.6.5 Função taxa de avaria

A função de taxa de avaria permite a determinação do número de falhas que ocorrem por tempo unitário. Ou seja, a taxa de falha instantânea também conhecida como função de perigo.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3)$$

2.6.6 Fiabilidade de sistemas

Um sistema é um conjunto de componentes, subsistemas e/ou conjuntos dispostos num desenho específico de forma a alcançar as funções desejadas com desempenho e fiabilidade aceitáveis. Os tipos de componentes, as suas quantidades, as suas qualidades e a forma como estão organizados

dentro do sistema têm um efeito direto na fiabilidade do sistema. A relação entre um sistema e os seus componentes é muitas vezes incompreendida ou excessivamente simplificada (ReliaSoft, 2015). Uma vez configurado o sistema, a sua fiabilidade pode ser determinada. Se o sistema não oferecer um nível adequado de fiabilidade tanto o seu arranjo estrutural como a fiabilidade de suas partes, componentes podem ser alterados, num processo iterativo, em busca de um projeto que atenda às especificações de fiabilidade. O autor ainda afirma que a análise de fiabilidade do sistema é estática; um perfil da fiabilidade do sistema no tempo pode ser obtido repetindo a análise para diferentes momentos no tempo. Uma segunda suposição importante diz respeito ao estado dos componentes e sistema no momento da análise, ou seja, estão operantes (isto é, funcionando) ou não-operantes, ainda que tal suposição binária possa não descrever de forma correta e realista certos tipos de componentes e sistemas, ela é necessária, na maioria dos casos para tornar possíveis os cálculos envolvidos na análise do sistema (Fogliatto, 2011).

Estas componentes da fiabilidade necessitarão de um suporte para a tomada de decisão no momento da sua aplicação, pois processos de decisão num ambiente complexo, dificulta a escolha de que caminho se deve tomar, pois, pode envolver dados imprecisos ou incompletos, múltiplos critérios e inúmeros agentes. Para se conduzir a uma análise de modos e consequências de falhas, o processo para se determinar a que grau de importância uma determinada variável poderá determinar o nível de criticidade para o tema, a utilização de métodos multicritérios irá acrescentar valor significativo na tomada de decisão, enquanto não permita somente que a abordagem de problemas considerados complexos tenham decisões incompletas, mas também irão conferir ao processo uma clareza e por consequência, a transparência não disponíveis quando esses procedimentos são utilizados isoladamente.

2.7 AHP - *Analytic Hierarchy Process*

O método *Analytic Hierarchy Process* - AHP foi criado pelo professor Thomas L. Saaty, em 1971, quando trabalhava no Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Foi desenvolvido em 1972, num estudo para a Fundação Nacional de Ciências dos Estados Unidos sobre o racionamento de energia para indústrias. Em 1973 a metodologia atinge a sua consolidação ao ser aplicada no estudo dos transportes do Sudão. Finalmente em 1981, Saaty publicou um livro intitulado “*Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*”,

consolidando seu método. A metodologia AHP tornou-se bastante útil ao longo do tempo, uma vez que possui a capacidade de poder combinar duas abordagens, a objetividade e lógica da matemática com a subjetividade e instintividade da psicologia. Ou seja, permite delinear um problema com dados quantitativos e com aspetos subjetivos, envolvendo ao mesmo tempo o grau de certeza ou incerteza envolvido no problema.

2.7.1 Construção de hierarquias

De acordo com Santos (2008), a hierarquia “é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total”. Ou seja, ao estruturar um problema em níveis hierárquicos consegue-se uma melhor compreensão e avaliação do impacto relativamente à questão em causa. A estrutura chave de uma hierarquia é composta pelo objetivo global, pelo conjunto de critérios e subcritérios (requisitos para avaliação das alternativas) e finalmente pelo conjunto de alternativas viáveis (representam a possibilidade de decisão). A Figura 4 mostra um exemplo de uma representação diagramática das causas de falhas no AHP.

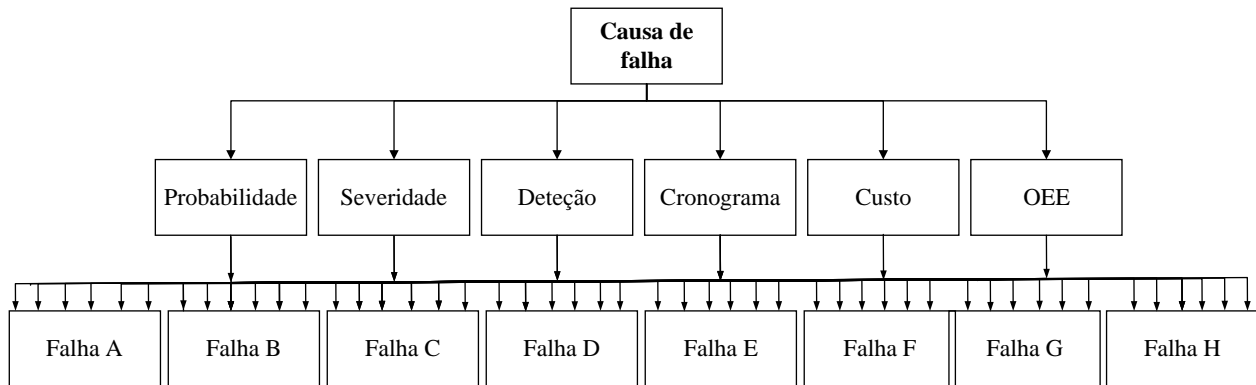


Figura 4 - Representação diagramática das causas de falha na hierarquia do AHP
Fonte: Elaboração própria, adaptado de Saaty (1987).

2.7.2 Definição de prioridades e comparações par-a-par

Este princípio é baseado na capacidade do decisor entender a relação entre objetos e situações observadas ao realizar comparações par-a-par de um determinado critério. A priorização das alternativas obtém-se através de respostas a perguntas do género: “qual a importância do critério X em relação ao critério Y?” Este processo é conhecido por comparação par-a-par (*pairwise*

comparison) e tem como objetivo estimar a escala em que os elementos de cada nível da hierarquia são medidos. Quando dois ou mais decisores chegam a diferentes escalas de razão para o mesmo problema, deve-se testar a compatibilidade das respostas de ambos e aceitar ou rejeitar a “proximidade” entre elas. Para isso são criados quadros normalizados através da soma dos elementos de cada coluna das matrizes de julgamento e posterior divisão de cada elemento destas matrizes pelo somatório dos valores da respectiva coluna.

As comparações par-a-par expressas em termos linguísticos/verbais, são convertidas em valores numéricos de acordo com a escala fundamental de Saaty, para comparação de critérios. A quantificação das comparações é feita usando uma escala de valores que varia de “1” a “9”, sendo assim possível medir o grau de importância do elemento de um determinado nível sobre os elementos de um nível inferior, conforme Tabela 2 (Sardinha, 2009).

Tabela 2 - Níveis de importâncias de comparação

Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Fraca importância	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Forte importância	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação com o mais alto grau de incerteza
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Saaty (1987).

2.7.3 Índice de consistência

Para avaliar a inconsistência quando se 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 efetuada não é consistente. Para o cálculo do *consistency index* (CI), Saaty (1987) considerou:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (4)$$

λ_{max} é o alto valor máximo da matriz e os valores do *random index* (RI) estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de RI para diferentes ordens de matriz

n	1	2	3	4	5	5	7	8
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,41

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Saaty (1987).

Os resultados encontrados são usados para desenvolver matrizes de tamanho $n \times n$ (n é o número de fatores em consideração) a partir das quais se determina o cálculo do *consistency ratio* (CR) expressa pelo índice:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Os julgamentos são considerados aceitáveis quando $CR \leq 0,01$ e se isto não ocorre recomenda-se repetir imediatamente a avaliação ou iniciar uma investigação mais detalhada. Finalmente prioriza-se a criticidade de cada combinação causa/critério, dentro de uma escala de 0,000 a 1,000. Combinando a metodologia AHP com a metodologia FMEA é possível diminuir a subjetividade naturalmente associada ao julgamento tradicional com valores e justificar de forma racional as prioridades determinadas e incluir critérios adicionais aos levados em conta na FMEA, tão ou mais importantes que estes para o sucesso do projeto e para o uso do equipamento na produção em série.

2.7.4 Razões para escolha do AHP

A grande vantagem da metodologia AHP é permitir que os utilizadores atribuam pesos relativos para múltiplos critérios, ou múltiplas alternativas para um dado critério, de forma intuitiva, ao mesmo tempo em que realiza uma comparação par a par entre os mesmos. Isso permite que, mesmo quando duas variáveis são incomparáveis, com os conhecimentos e a experiência das pessoas, pode-se reconhecer qual dos critérios é mais importante (Saaty, 1991).

A nível dos domínios, a metodologia AHP tem sido utilizada em diferentes áreas, desde medicina, defesa, gestão de projetos, *marketing*, 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 dos métodos de resolução de problema tradicionais onde geralmente se procura enquadrar problemas em categorias. Uma vez classificados, eles podem ser resolvidos através de procedimento padrão. Esses métodos centram seu foco na escolha de alternativas e da solução ótima à procura de soluções que sigam as regras de rácio, excluindo a subjetividade de todos os envolvidos no processo decisório.

Capítulo 3 – Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM)

3.1 Histórico e considerações iniciais

A primeira indústria a se deparar com os conceitos da metodologia RCM foi a aviação, a qual tinha como objetivo avaliar se os esforços realizados pelos técnicos de manutenção iriam garantir que o trabalho realizado estava a resultar em equipamentos mais fiáveis. Moubray (1998) afirma que a metodologia RCM é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus utilizadores querem que ele faça no seu contexto operacional presente. O autor afirma que o processo da metodologia RCM implica em responder a sete perguntas sobre cada um dos itens sob análise crítica:

- 1) Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- 2) De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- 3) O que causa cada falha funcional?
- 4) O que acontece quando ocorre cada falha?
- 5) De que forma cada falha importa?
- 6) O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
- 7) O que deve ser feito se não for criada uma tarefa proativa apropriada?

Bloom (2006) afirma que o objetivo em responder estas sete perguntas é tornar a metodologia RCM mais amigável. De acordo com Sinfonte (2017), os princípios e ferramentas da *Reliability Centered Maintenance* (RCM) existem há décadas, e a maioria das organizações entendem os elementos-chave que sustentam um programa de fiabilidade. Eles investem tempo e dinheiro na criação e implementação de iniciativas de melhoria de gestão de ativos e fiabilidade, num esforço para evitar avarias inesperadas, interrupções, exposições de segurança e custos para atender às metas de desempenho dos negócios. Para Sjøholt (2018) a metodologia RCM desenvolveu-se através dos tempos, e existem diversas teorias sobre seu início. O comum para todos são os objetivos do método para desenvolver um plano e estratégia de manutenção otimizada com foco na redução de custos mantendo as funções para os sistemas ou ativos. Ao

longo dos anos a metodologia RCM foi utilizado em diversas atividades industriais vindo a trazer consigo a necessidade de normatização. As normas mais utilizadas são:

- SAE JA 1011: *Evaluation Criteria for the RCM Process*;
- SAE JA 1012: *A Guide to the RCM Standard*.

Albuquerque (2017) afirma que a norma SAE JA 1011 foi o primeiro documento a integrar os procedimentos e considerações da metodologia RCM aplicada em quaisquer ativos físicos, industriais ou não, almejando uma gestão responsável e fiável. A norma descreve os procedimentos para identificar as melhores políticas de manutenção a serem implementadas nestes ativos, tendo o controlo dos modos de falhas e suas respectivas consequências, de maneira a evitar a popularização de pseudo-práticas, onde estas são práticas não reconhecidas, aplicáveis e/ou efetivas no incremento de fiabilidade dos processos.

De acordo com a Norma SAE 1011 (SAE, 2009), a metodologia RCM tem sido usada para ajudar a formular estratégias de gestão de ativos físicos em quase todas as áreas de esforço humano organizado e em quase todos os países industrializados do mundo. No entanto, o uso generalizado do termo "RCM" levou ao surgimento de uma série de processos que diferem significativamente do processo original. Como resultado, tem havido uma crescente procura internacional por um padrão que estabelece os critérios que qualquer processo deve cumprir, a fim de ser chamado de "RCM". Moubrey (1998) ressalta que, caso a metodologia RCM seja corretamente aplicada, pode-se esperar a obtenção dos seguintes resultados:

- Maior segurança humana e proteção ambiental;
- Melhor desempenho operacional (quantidade, qualidade do produto e serviços ao cliente);
- Maior efetividade do custo da manutenção;
- Aumento da vida útil dos equipamentos críticos;
- Criação de um banco de dados completo sobre a manutenção;
- Maior motivação das equipes de manutenção e operação;
- Melhoria do trabalho em equipe.

Todas estas questões servirão de base na tomada de decisão para a escolha da melhor e mais economicamente viável estratégia de manutenção a ser adotada para cada ativo físico,

respondendo a questões tais como, a que momento e até quando se deve reparar um ativo ou se deve deixá-lo funcionar até falhar.

3.1.1 Função e padrão de desempenho

Antes de se aplicar um processo para que se determine o que deve ser feito para assegurar que os ativos físicos continuem a desempenhar a sua função, deve ser levado em consideração o que seus utilizadores desejam que façam num contexto operacional e se ele é capaz de fazer (Moubray, 1998). Ou seja, definir a função de cada ativo junto com o seu padrão operacional considerando falhas primárias⁴ e secundárias⁵.

A norma internacional SAE 1011 (SAE, 2009) define falha funcional como sendo um estado em que um ativo físico é incapaz de executar uma função específica para um nível desejado de desempenho. Um item é incapaz de executar a função num padrão de desempenho que seja aceitável (Moubray, 1998). O comportamento do conjunto de falhas ou sequência de falhas irá caracterizar o modo de falha de um ativo.

3.1.2 Modos de falha

Fogliatto (2011) define como modo de falha a maneira com que um item – ativo físico – pode falhar em atender os requisitos de projeto. Para Moubray (1998), identificar todos os eventos prováveis de causar falha incluindo aquelas falhas que ocorrem no mesmo equipamento ou similar, operando em um mesmo contexto, listar todos os modos de falha cuja probabilidade de ocorrência seja praticamente nula, inclusive, aqueles que só ocorrem em situações bem específicas. Esta lista com possíveis modos de falha deve ser construída com base na experiência da equipa num ambiente de *brainstorming* onde todos devem se manifestar. Também devem ser utilizados os dados da assistência técnica e reclamação dos clientes, que costumam ser fontes

⁴ Esta categoria de funções cobre questões como, velocidade, qualidade, capacidade de transporte ou armazenagem, qualidade do produto e serviços ao cliente.

⁵ Contemplam questões como; segurança, contenção, controle, conforto, integridade estrutural, economia, proteção, conformidade com regulamentos ambientais e aparência do item.

importantes de informação e devem ser descritos com termos técnicos (Fogliatto, 2011). Os modos de falha mais típicos são:

- Fissura;
- Deformação;
- Fuga;
- Curto-circuito;
- Fratura;
- Oxidação;
- Desaperto.

3.1.3 Efeitos da falha

Os efeitos da falha devem descrever o que aconteceria assumindo que o modo de falha e a falha funcional correspondente realmente ocorram. Os efeitos da falha incluirão todas as informações necessárias para apoiar a avaliação das consequências da falha (SAE, 2009). Moubray (1998) assegura que a descrição dos efeitos da falha deve incluir todas as informações necessárias para suportar a avaliação das consequências de uma falha, tais como:

- Quais evidências da falha ter ocorrido?
- De que modo pode ameaçar a segurança ou meio ambiente?
- De que maneira afeta a produção?
- Que dano físico é causado pela falha?
- O que é preciso ser feito para reparar a falha?

Para Fogliatto (2011) os típicos efeitos potenciais de falha são:

- Ruído;
- Aspeto desagradável;
- Vibração;
- Folga;
- Operação intermitente;
- Falta de operação;
- Odor desagradável.

3.1.4 Consequência da falha

O motivo pelo qual a metodologia RCM se baseia na manutenção proativa é a prevenção ou diminuição das consequências de falha, podendo estas afetar a qualidade do produto, serviço ao cliente, segurança e meio ambiente. Estas, são classificadas em quatro grupos (Moubray, 1998):

- Consequências de Falhas Ocultas: Não possuem um grande impacto nem consequências sérias. Estão geralmente relacionadas com dispositivos de proteção.
- Consequências Sobre Segurança e Meio Ambiente: Está relacionada com a ocorrência de dano ou lesão para a vida humana ou a violação de qualquer padrão ambiental.
- Consequências Operacionais: Afeta de forma direta a produção como sendo; a quantidade, a qualidade e o custo direto da reparação.
- Consequências não operacionais: afeta apenas o custo direto da reparação.

A metodologia RCM irá utilizar estas categorias como base de uma estrutura estratégica para a tomada de decisão da manutenção (Moubray, 1998).

3.1.5 Padrão de falhas

A ocorrência de falhas por natureza da sua ocorrência, cria um padrão. Moubray (1998) indica que existem seis padrões de probabilidade de falha condicional contra a idade operacional de um ativo. A Figura 5 representa estes padrões seguido da respetiva descrição:

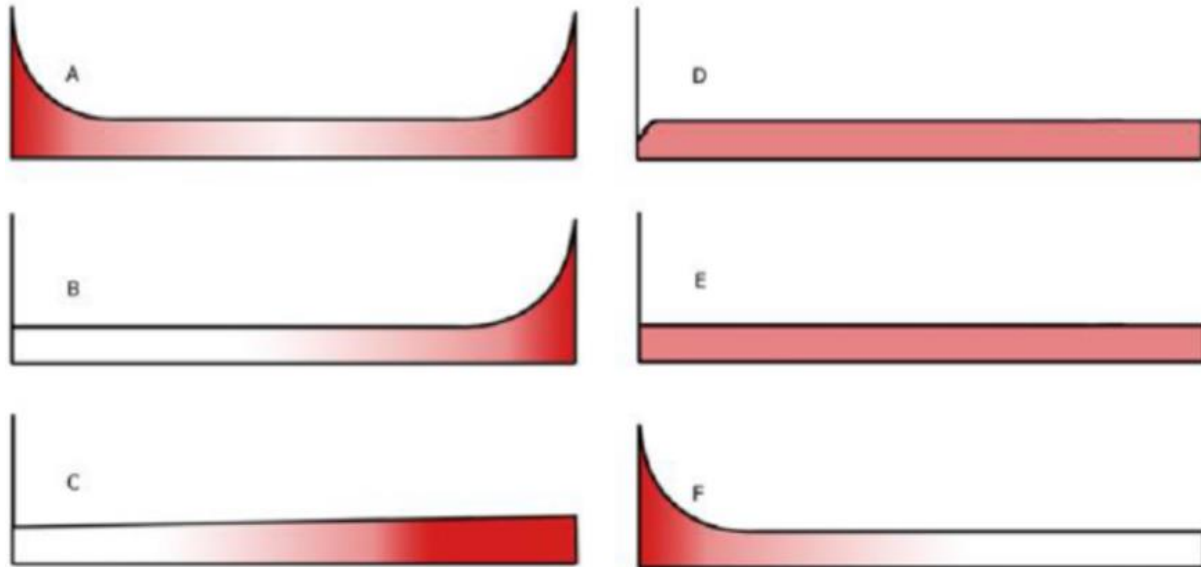


Figura 5 - Os seis diferentes padrões de falha
 Fonte: Moubray (1998). p.12

Padrão A: É bem conhecida como curva da banheira. Ela começa com uma alta incidência de falha (conhecida como mortalidade infantil) seguida por uma probabilidade condicional de falha constante ou gradualmente aumentada e por uma zona de desgaste.

Padrão B: O padrão mostra uma probabilidade de falha que é relacionada à idade do ativo.

Padrão C: O equipamento tem uma probabilidade cada vez mais de falhar à medida que o tempo passa.

Padrão D: Probabilidade condicional, onde novos equipamentos têm menor probabilidade de falha, mas aumenta rapidamente.

Padrão E: Padrão de falhas aleatórias.

Padrão F: Esse padrão mostra mortalidade infantil. O ativo tem uma maior probabilidade de falhar no início de sua vida útil.

Existe uma proporcionalidade entre as falhas dos componentes e os seis padrões de falha, conforme representado na Tabela 4.

Tabela 4 - Proporcionalidade entre padrões e probabilidades condicionais de falha

Padrão de falha	Probabilidade condicional de falha
A	4%
B	2%
C	5%
D	7%
E	14%
F	68%

Fonte: Elaboração própria, Moubray (1998) citando estudos da aviação civil.

3.1.6 Curva PF

Para determinar o exato momento em que um ativo falha nem sempre é uma tarefa simples. Uma análise a ser considerada é o intervalo entre a falha potencial e sua ocorrência. Esta avaliação é feita através da curva PF ou intervalo PF. Regan (2012) afirma que é o tempo a partir de quando a condição de falha potencial é detetável até ponto de que a falha ocorra, conforme representado na Figura 6.

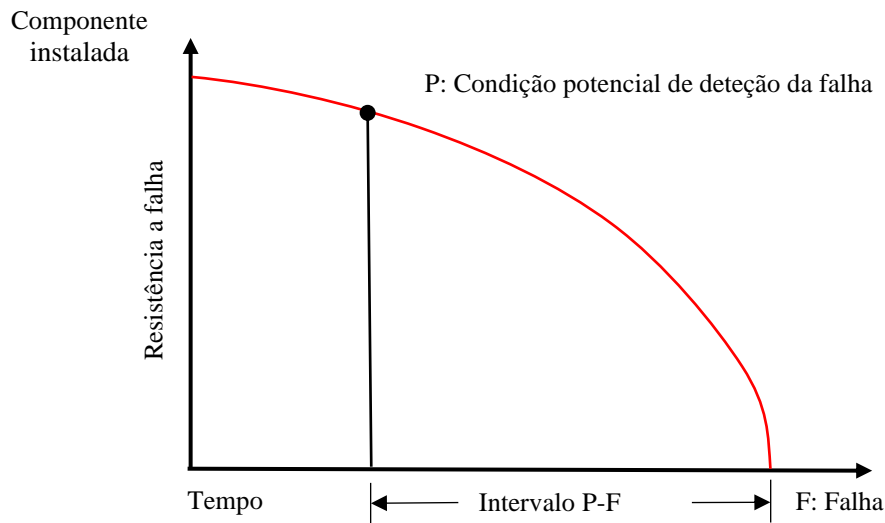


Figura 6 – Curva PF

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Regan (2012. p.138)

Onde: O eixo “x” representa o tempo (podendo ser: horas, horário de funcionamento, ciclos) e o eixo “y” representa a resistência à falha.

3.1.7 Viabilidade técnica e econômica

Para se avaliar o momento mais indicado de se realizar um tipo de manutenção num ativo ou se o mesmo deve ser deixado operar até a perda total da sua função, cada organização deverá avaliar as perdas inerentes caso este ativo venha a falhar. Moubray (1998) assegura que a natureza e a severidade de cada efeito, ou seja, impacto e extensão, irá orientar a organização. Este autor ainda acrescenta a combinação de padrões e efeitos da falha indicando que cada falha possui um conjunto específico de consequências. Os resultados desta avaliação irão balizar a implementação da metodologia RCM para aplicação em ativos físicos industriais como pilar de contributo que a manutenção pode fornecer a uma organização, ou seja, a disponibilidade de seus ativos físicos. Se a fiabilidade de um produto aumentar, aumentará também o custo do projeto e a sua produção. No entanto, um baixo custo de produção e conceção não implica um baixo custo global do produto. Ao aumentar a fiabilidade do produto, pode-se aumentar os custos iniciais, mas diminuir os custos de suporte. Um custo total mínimo do produto pode ser determinado e implementado calculando a fiabilidade ideal para tal produto. A Figura 7 representa que o custo total do produto é a soma dos custos de produção e conceção (ReliaSoft, 2015).

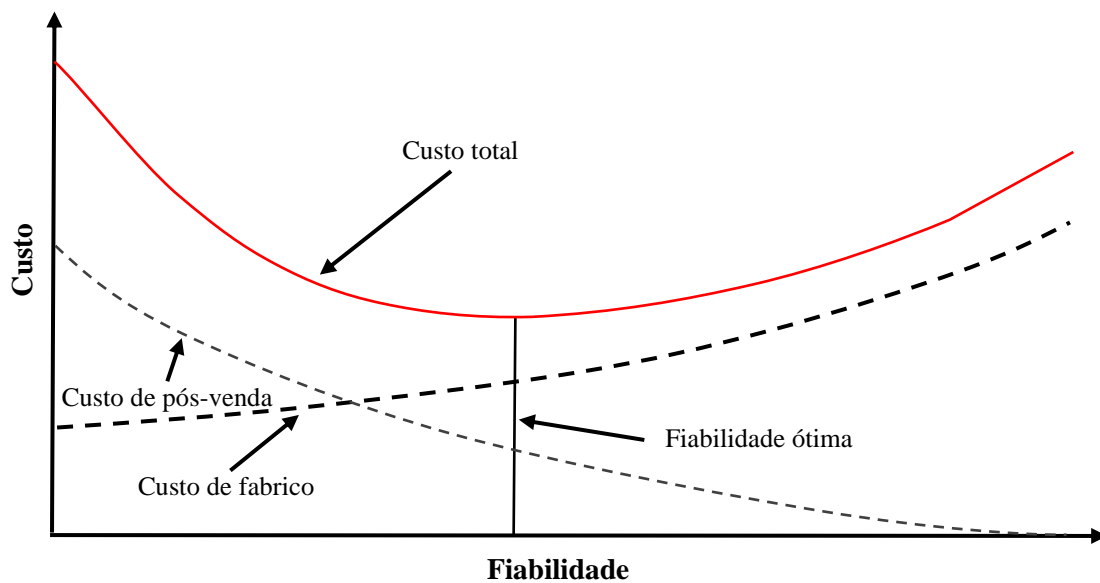


Figura 7 - Avaliação da fiabilidade e o custo de produção
Fonte: Elaboração própria, adaptado de ReliaSoft (2015).

3.2 Implementação da metodologia RCM

A inserção da manutenção associada a um contexto operacional é o pilar da metodologia RCM, uma vez que este processo é utilizado para determinar quais os requisitos de manutenção de um ativo físico dentro do contexto operacional. Smith (2004) afirma que para a implementação da metodologia RCM, sete passos básicos deverão ser seguidos:

- 1) Seleção do sistema e recolha de informações;
- 2) Definição do limite do sistema;
- 3) Descrição do sistema e diagrama de blocos funcional;
- 4) Funções do sistema e falhas funcionais-funções de prevenção;
- 5) Análise de modo de falha e efeitos (FMEA)-Identificar falha;
- 6) Análise da causa raiz;
- 7) Seleção de tarefas - Selecione apenas tarefas preventivas aplicáveis e eficazes.

3.2.1 Princípios da metodologia RCM

De acordo com a abordagem tradicional, o objetivo central da manutenção é a prevenção de falhas nos equipamentos. Já a metodologia RCM tem o foco direcionado para o desempenho da função dos equipamentos e na prevenção das consequências de falhas como descrito por Assis (2014):

- 1) Orientados para a funcionalidade do sistema. Procura preservar a função do sistema ou do equipamento, não apenas a operabilidade de componentes;
- 2) Focados no sistema, priorizando-se face às funções dos componentes;
- 3) Centrados na fiabilidade. Trata os dados estatísticos de falhas para se conhecer a probabilidade condicional de falhas do equipamento;
- 4) Possibilita a comparação com a fiabilidade de projeto. Com o conhecimento da fiabilidade extrínseca, torna-se possível compará-la com a fiabilidade intrínseca;
- 5) Direcionados para a segurança e economia. A segurança deve ser assegurada a qualquer custo e é prioritária, mesmo que implique alteração do projeto;

- 6) Orientados para tratamento de qualquer situação insatisfatória, ou seja, uma falha não é opção. Considera-se como falha a perda de função de um equipamento ou, de não conformidade do produto ou processo;
- 7) Resultados tangíveis. Deverá conseguir-se reduzir o número de falhas, ou pelo menos reduzir os danos devidos a elas, mitigar as consequências;
- 8) Baseados nas políticas de manutenção.

O processo de implementação com *feedback* em *loop*, é uma das mais importantes características desta metodologia RCM pois permite ter revisões constantes. Ao reunirem-se novos dados de falhas, após uma análise cuidadosa, possibilita novos ajustes e adaptações, tornando-se uma metodologia dinâmica que melhora e adapta os procedimentos e políticas de manutenção futuras do sistema.

3.2.2 FMEA

Identificar o modo como os ativos falham tem sido o cerne da questão quando se deseja gerir o desempenho e a vida útil de equipamentos e instalações. Uma forma de se realizar uma análise encadeada, é utilizando a metodologia FMEA. Um modo de falha pode ser definido como qualquer evento que pode levar um ativo a falhar (Moubray, 1998). Fogliatto (2011) assegura que uma FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis* ou Análise dos Modos e Efeitos de Falha) é uma técnica de fiabilidade que tem como objetivos:

- 1) Reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir num produto ou processo;
- 2) Identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas;
- 3) Documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

A FMEA poderá ser aplicada em vários níveis seja em componentes, equipamentos ou sistemas e ainda podendo ser utilizada na fase de projeto para detetar possíveis falhas e melhorar a fiabilidade do sistema. Bloom (2006) afirma que é necessário começar com um sistema e, em seguida definir funções para cada subsistema individual. Os sistemas e subsistemas devem ser compartimentados onde será obrigado a estabelecer o processo de identificação dos limites

pontos de interface para cada sistema. A Figura 8 exemplifica um modelo que pode ser usado numa análise FMEA.

FMEA nº:								
Data:								
Equipamento				Código Equipamento:				
Sistema:				Código do Sistema:				
Subsistema	Código subsistema	Função subsistema	MDF funcionais	Código MDF	Causa MDF	Efeito do MDF	Consequências do MDF	Nível de criticidade

Figura 8 - Formulário análise FMEA
 Fonte: Elaboração própria, adaptado de Assis (2014).

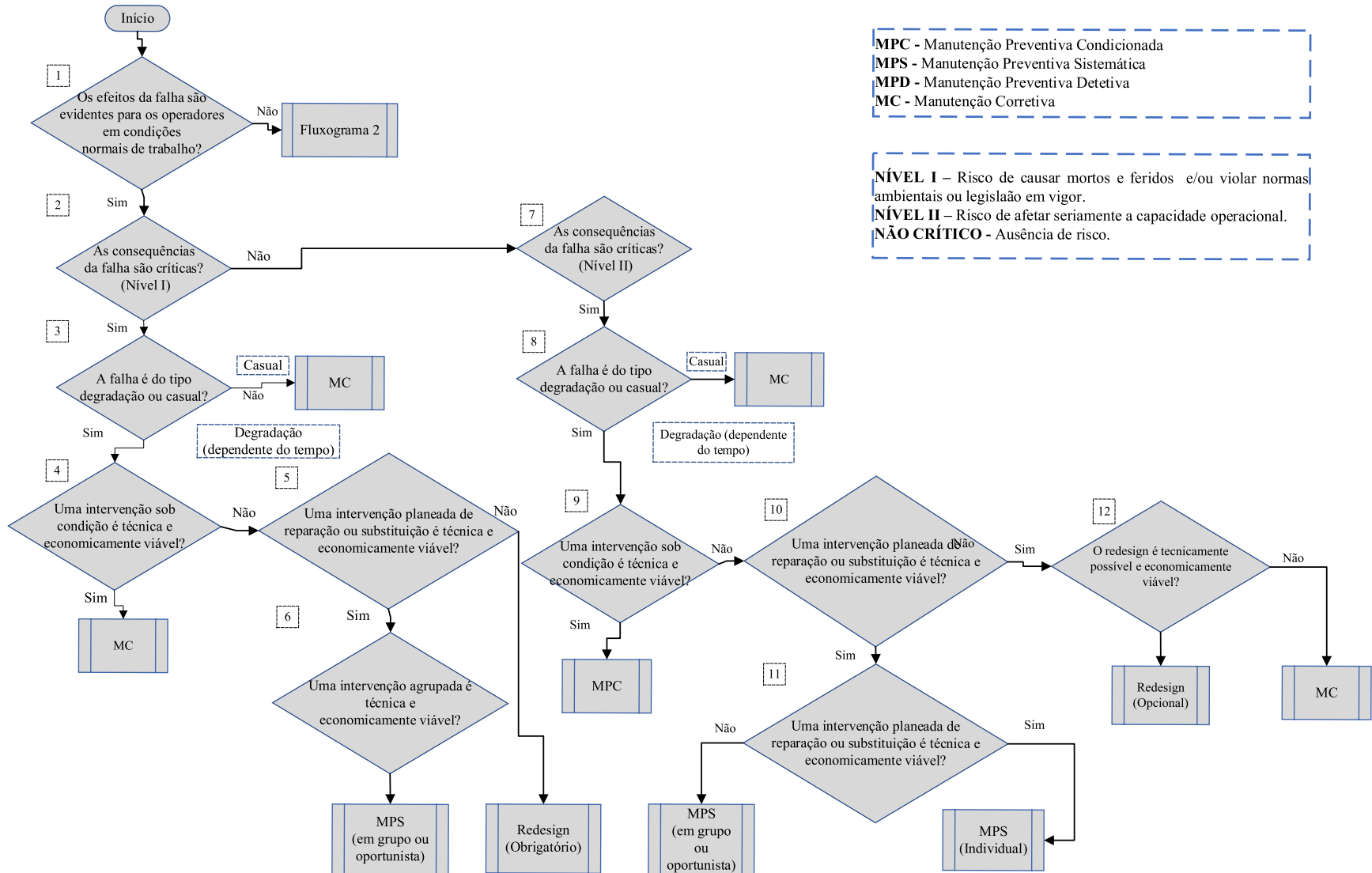
3.2.3 Diagrama de decisão de RCM

O diagrama de decisão é utilizado para determinar quais as tarefas de manutenção são mais adequadas para os ativos físicos industriais. Ele integra todos os processos da metodologia RCM numa estrutura estratégica única (Moubray, 1998). Este diagrama serve para responder a questões relativas à tomada de decisão em relação a ocorrência de falhas e seus meios de mitigação. Ou seja, respondem às questões levantadas pelo referido autor:

- Que rotina de manutenção, se houver, deve ser feita, qual a periodicidade e quem deverá fazê-la;
- Quais são as falhas suficientemente sérias para justificar um reprojeito;
- Casos onde decisões deliberadas tem de ser tomadas para deixar a falha acontecer.

Outro importante fator é a não polarização de respostas e/ou possibilidade de forçar respostas em relação a uma quantidade variada de opções o que pode levar a erros de medição, se o tema que foi tratado de forma dicotômica quando na verdade apresentam várias alternativas, por exemplo, entre a concordância total e discordância total, além de que dependendo de como a pergunta é feita, questões com respostas dicotômicas são fortemente passíveis de erros sistêmicos.

Ao analisar o diagrama de decisão, percebe-se que todas as decisões são baseadas em respostas “SIM” e “NÃO”. A Figura 9 e a Figura 10 representam este diagrama.



MPC - Manutenção Preventiva Condicionada
 MPS - Manutenção Preventiva Sistemática
 MPD - Manutenção Preventiva Detetiva
 MC - Manutenção Corretiva

NÍVEL I – Risco de causar mortos e feridos e/ou violar normas ambientais ou legislação em vigor.
 NÍVEL II – Risco de afetar seriamente a capacidade operacional.
 NÃO CRÍTICO - Ausência de risco.

Figura 9 - Diagrama de decisão de RCM (fluxograma 1)
 Fonte: Elaboração própria, adaptado de Assis (2014).

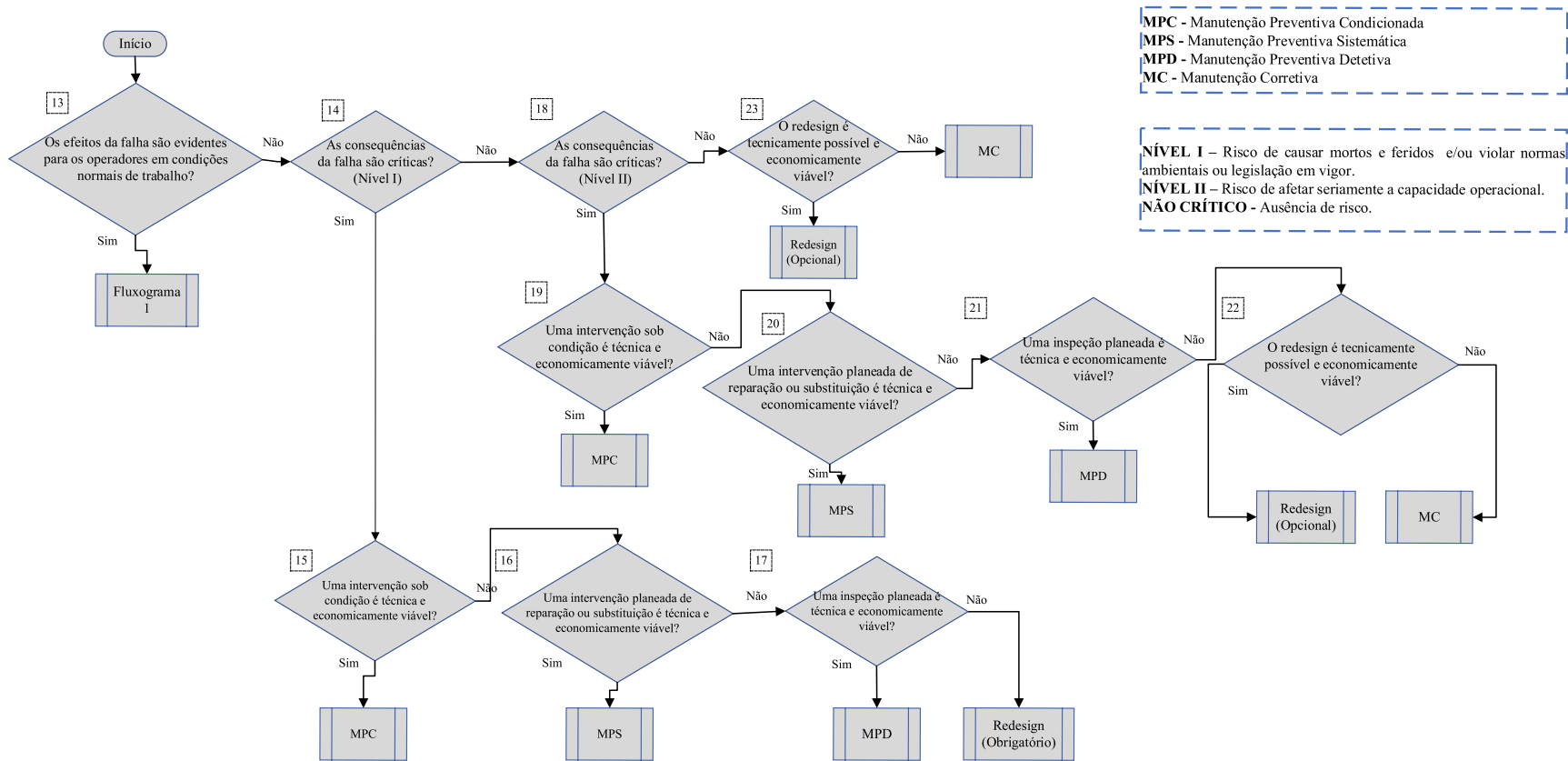


Figura 10 - Diagrama de decisão de RCM (fluxograma 2)
 Fonte: Elaboração própria, adaptado de Assis (2014).

3.2.4 Benefícios da implementação da metodologia RCM

Com a implementação da metodologia RCM, diversas organizações de várias áreas industriais, poderão obter benefícios devidamente identificados em diversos fatores, aumentando a sua competitividade e visão no mercado em que se inserem. Destacando-se os seguintes:

Segurança das pessoas e bens: É o principal benefício obtido com esta metodologia. Esses benefícios são resultados das informações geradas pelo RCM, para identificar todas as possíveis consequências à segurança das pessoas e bens, caso a falha ocorra.

Fiabilidade: A melhoria da fiabilidade surge como objetivo principal, através da constante reavaliação das políticas de manutenção, informações resultantes no *feedback* que a equipa de técnicos, gestores de manutenção, supervisores, construtores e representantes dos equipamentos transmitem para a formação e aumento de uma base de dados.

Custos: Inicialmente os custos são elevados, devido à aquisição de equipamentos para monitorização das condições de funcionamento (monitorização), no entanto esta fase é breve. A seu tempo, as MPS e as MC serão substituídas por MPC, resultando numa diminuição de custos.

Calendarização: A monitorização das condições de funcionamento dos equipamentos possibilita antecipadamente, organizar diversos aspetos importantes de planeamento, adquirir peças sobressalentes, preparar e adequar a equipa de manutenção técnica, informar antecipadamente a paragem do sistema, com o objetivo de realizar a intervenção de manutenção eficientemente e com o menor impacto.

Equipamento / Substituição de componentes: Uma grande vantagem da metodologia RCM é que os equipamentos / componentes têm um uso maximizado, a sua substituição é considerada conforme a condição de funcionamento (função) dos mesmos e não com base em calendarizações.

Eficiência / Produtividade: A eficiência tem primeiramente como base a análise de criticidade, posteriormente avaliar-se-á o custo respetivo. A metodologia RCM é flexível e permite adequar e ajustar as políticas de manutenção quando necessário, pois a manutenção que não é eficiente é identificada.

3.2.5 Áreas de aplicação da metodologia RCM

Embora ainda muito utilizado na aviação civil, a fiabilidade possui aplicações nos mais diversos seguimentos. Sectores como a garantia de produtos, programa de compras, engenharia, pesquisa, desenvolvimento, fabrico, controlo de qualidade, inspeção, testes, embalagens, transportes, são exemplos de aplicações mais abrangentes para a fiabilidade (Kececioglu, 2002). Das mais variadas aplicações da metodologia RCM algumas se destacam, tais como:

- A utilização da metodologia RCM para construir um programa de manutenção para um ferry de passageiros que seja autónomo em Trondheim na Noruega (Sjøholt, 2018);
- Em outro trabalho, a implantação de um programa de Fiabilidade na Força Aérea Portuguesa (Pedro, 2014);
- Na área Biomédica, um estudo para analisar a fiabilidade e manutibilidade de equipamentos de imagiologia cujo custo e especificidade técnica são elevados para objetivamente estudar o aumento da sua disponibilidade, analisando os vários Modos de Falha (MDF), a sua probabilidade de ocorrência e impacto em várias vertentes (funcionais, económicas e segurança) (Ribeiro, 2019).
- Em outro exemplo, um trabalho realizado para avaliação da fiabilidade e manutenção dos componentes que apresentam maiores taxas de avarias em aerogeradores de uma usina eólica no Brasil, a partir dos respetivos dados históricos (Silva, 2016). Todas estas abordagens, demonstram a importância e as mais variadas aplicações da metodologia RCM em diferentes áreas de aplicação.

Todas estas aplicações desenvolvidas no âmbito da implementação da manutenção centrada em fiabilidade, reforça em muito a sua aderência aos diversos ramos industriais.

Capítulo 4 - Ativos Físicos Industriais

4.1 Ativos físicos

O termo “ativo” já é bastante utilizado nas organizações industriais representando apenas uma das cinco grandes categorias dos tipos de ativos que têm de ser geridos de forma holística, a fim de atingir o plano estratégico organizacional. A *Publicly Available Specification 55*, PAS 55 (2008), define como ativo físico as “instalações, máquinas, imóveis, edifícios, veículos ou outros itens que apresentem um valor distinto para a organização”. Pais *et al.* (2019) definem ativos físicos todos os itens, como instalações, máquinas, edifícios, estradas, veículos, caminhos de ferro, aviões, oleodutos, cabos, equipamentos de comunicação e outras infraestruturas. A PAS 55-2 (BSI, 2008b) cita que um ativo é algo que tem valor ou que pode gerar valor para uma organização, ou seja, um bem cuja sua importância se traduz numa necessidade de obter cuidados de modo a assegurar o cumprimento da sua função requerida. A norma ISO 55000 (2014) define que a gestão de ativos envolve o equilíbrio de custos, oportunidades e riscos com o desempenho desejado dos ativos, para atingir as metas organizacionais.

Considerando os modelos apresentados para conceituar ativos físicos, torna-se essencial para as organizações na qual esses ativos apresentam algum valor, determinar uma política de gestão congruente e que tragam benefícios estratégicos ao negócio. Estas estratégias devem contemplar as dimensões da manutenção, fiabilidade, qualidade, projetos e das pessoas. Um sistema de gestão de ativos que garanta a convergência dessas categorias poderá potencializar em muito os resultados que se esperam de uma organização.

4.1.1 Gestão de ativos

A gestão de ativos está relacionada com a quarta geração da manutenção, na qual o objetivo é maximizar a eficácia de um ativo durante todo seu ciclo de vida útil, minimizando as falhas e reduzindo as perdas de desempenho. Também permite que uma organização examine a necessidade e o desempenho de ativos e sistemas de ativos em diferentes níveis numa abordagem com as melhores práticas para gerir as suas estratégias em toda a organização como sendo um

processo que é composto por pessoas, tecnologia e dados para conectar ativos físicos e instalações a um sistema central, permitindo que sejam desenvolvidas, implementadas, mantidas e otimizadas as estratégias de ativos de forma eficaz. A PAS 55-2 (BSI, 2008b) descreve gestão de ativos como sendo atividades e práticas sistemáticas e coordenadas através das quais uma organização gere de forma otimizada e sustentável os seus ativos e sistemas de ativos, seu desempenho associado, riscos e gastos ao longo dos seus ciclos de vida com o objetivo de alcançar um plano estratégico organizacional. Segundo o *Institute of Asset Management* (IAM, 2015) a gestão de ativos é mais do que fazer coisas ao ativo – trata-se em usar ativos para acrescentar valor e atingir os objetivos de negócio das organizações. Traz também uma abordagem e uma forma diferente de pensar e uma transformação do alinhamento na cultura organizacional. Cada organização tem que determinar o que acrescenta valor e escolher como gerir os seus ativos para obter o melhor resultado unindo diferentes partes da organização que juntas perseguem e partilham objetivos e estratégias, tal como representado na Figura 11.

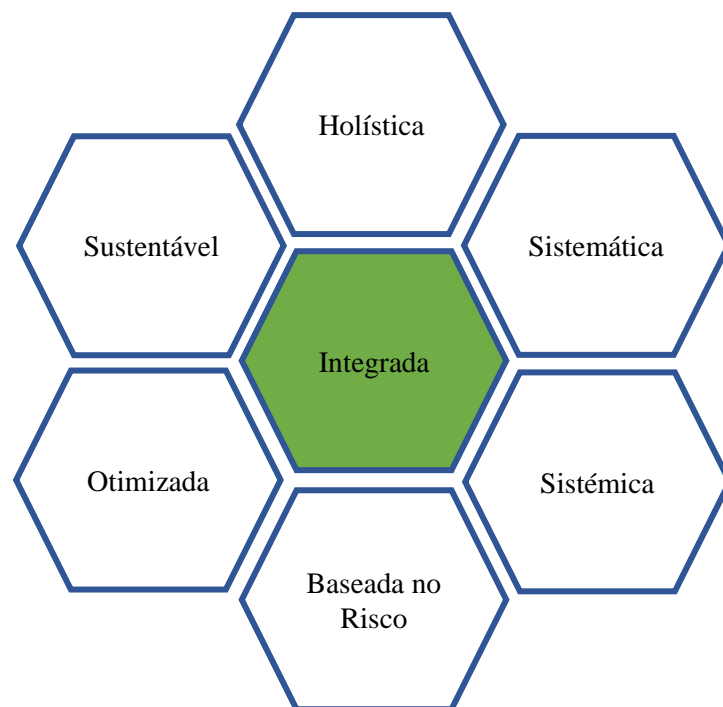


Figura 11 - Principais chaves e atributos da gestão de ativos
Fonte: Elaboração própria, adaptado de (PAS 55-2, 2008).

A PAS 55-2 (BSI, 2008b) descreve cada uma destas partes conforme apresentado a seguir:

Holística: “olhar para a gestão de ativos como um todo, ou seja, as implicações combinadas de gerir todos os aspetos, incluindo a combinação de diferentes tipos de ativos, as interdependências funcionais e contribuições de ativos dentro de sistemas de ativos, e as diferentes fases do ciclo de vida do ativo e atividades correspondentes, em vez de uma abordagem compartimentada”;

Sistemática: “uma abordagem metódica, promovendo decisões consistentes, repetíveis e com ações auditáveis”;

Sistémica: “considerando os ativos no seu contexto de sistema de ativos e otimizar o valor dos sistemas de ativos, incluindo desempenho sustentável, custos e riscos em vez de otimizar ativos individuais de forma isolada”;

Baseada no Risco: “foco em recursos e despesas definindo prioridades adequadas aos riscos identificados e os custos / benefícios associados”;

Otimizada: “estabelecendo o melhor compromisso de valor entre fatores concorrentes, como desempenho, custo e risco, associados aos ativos ao longo de seus ciclos de vida”;

Sustentável: “considerando as consequências de longo prazo e de actividades de curto prazo para garantir que a provisão é feita para requisitos futuros e quais as obrigações sustentáveis económicas ou ambientais, desempenho do sistema, responsabilidade social e outros objetivos de longo prazo”;

Integrada: reconhecendo que as interdependências e efeitos combinados são vitais para o sucesso. Isso requer uma combinação dos atributos acima, coordenados para entregar uma abordagem conjunta e valor líquido.

4.1.2 Sistema de gestão de ativos

Toda a organização que pretenda alcançar um bom nível de gestão deve possuir um sistema de gestão de ativos. Isso trará enormes ganhos no acompanhamento e monitorização bem como historial de intervenções, dados de falha, ciclo de vida do ativo, fazendo com que as tomadas de decisão dos gestores sejam as mais assertivas possíveis.

De acordo com a PAS 55-1 (BSI, 2008) existem diferentes níveis em que as unidades de ativos podem ser identificadas e geridas – desde itens ou componentes de equipamentos discretos até os mais complexos sistemas funcionais. Muitas organizações identificam os ativos como equipamentos, unidades, enquanto outras utilizam o termo para descrever sistemas funcionais ou mesmo unidades de negócio integradas. A especificação ainda explica que não importa como é identificado esse nível de unidade de ativos, desde que:

- Os objetivos e prioridades estratégicas da organização são refletidos diretamente no plano de gestão de ativos;
- Os custos, riscos e desempenho do ciclo de vida do ativo são considerados e otimizados e isto geralmente requer definição de limites claros do ativo para a medição do desempenho, custos do ciclo de vida e atribuição dos riscos associados;
- As agregações de ativos (através de ativos integrados sistemas) e contribuições de valor (como parte do portfólio da organização) são geridos numa forma coordenada e consistente;
- Todas as partes da organização compreendem e usam a mesma terminologia em relação aos ativos, seus componentes e seus agrupamentos de sistema de ativos ou agregações.

4.1.3 A metodologia RCM e a sua relação com a gestão de ativos

De forma a garantir a disponibilidade dos ativos e a capacidade de resposta sempre que for exigido, os ativos de uma organização devem passar por constantes avaliações baseadas no seu historial de falhas, para saber o como, quando e de que forma se deve intervir em tais ativos. Uma das estratégias que pode ser utilizada pelas organizações é a metodologia RCM, que possibilita ao gestor poder avaliar o ciclo de vida de um ativo com base nos respetivos modos de falhas e suas consequências.

Segundo Martins (2015) a metodologia RCM permite a recolha de informação necessária para uma tomada de decisão fundamentada e racional e refere algumas prioridades no domínio da gestão de ativos, tais como:

- Melhorar a gestão e qualidade dos dados;
- Priorizar e planear o investimento nos ativos;
- Construir uma estratégia de gestão de ativos coordenada;
- Melhorar a gestão de risco.

O autor ainda pontua que a metodologia RCM necessita de informação essencial para o desenvolvimento de uma boa gestão de ativos físicos e que as análises e discussões farão transparecer quais os dados que são efetivamente úteis com o objetivo de uma gestão mais eficaz. As análises decorrentes da metodologia RCM proporcionarão uma visão dos ativos, não do ponto de vista do equipamento, mas numa perspetiva globalmente contextualizada.

A metodologia RCM é ainda útil na definição do ciclo de vida dos ativos, tornando mais fácil o planeamento das necessidades a longo prazo, além de incentivar a cooperação entre departamentos, nomeadamente entre a manutenção e a operação, entidades que devem trabalhar em conjunto para os objetivos da organização. No que cabe aos ativos físicos, a metodologia RCM permite descrever a relação entre eles no seu contexto organizacional. Com isso, as decisões de como interagir com os ativos (investimentos, manutenção ou abate) são mais fundamentadas com menor possibilidade para margem de erro.

Em suma, após a revisão da literatura da presente metodologia, verifica-se que a mesma tem capacidade de atender as necessidades que uma organização possui para manter os seus ativos físicos industriais, tornando-os a cada dia mais fiáveis e disponíveis. A correta gestão de ativos com um foco consciente integrado na realização de valor de todo o ciclo de vida, será amplamente comprovada bastando para isso, o registro de dados de falha e tempos até a falha.

Capítulo 5 – Caso de Estudo

No presente capítulo apresenta-se um estudo aplicado a um equipamento para formação de maços de cigarros como sendo parte de um conjunto de equipamentos em linha denominada *Link-Up (LU)*. O ativo físico em questão pertence a uma organização que possui outras diferentes tecnologias de fabrico. Entretanto, a escolha deste ativo se deu pela sua grande importância para a organização por se tratar de ativos que trabalham a grandes velocidades, uma vez que o tipo de tecnologia aplicada a este ativo, difere em relação a outras tecnologias existentes na empresa que operam em velocidades bem menores. Neste capítulo também será abordada a componente técnica do ativo, através da identificação dos seus principais componentes e explicação do sistema de funcionamento do processo.

Assim sendo, o estudo permitiu responder às sete questões básicas da metodologia RCM através da metodologia FMEA e do Diagrama de Decisão, identificando as melhores políticas de manutenção para garantir a fiabilidade e disponibilidade do equipamento. Para tal, foi definido pelo diretor de manutenção da empresa onde foi realizado o estudo, o equipamento que realiza a formação do maço de cigarros como sendo o equipamento crítico para o *LU*, uma vez que as paragens e o desempenho do ativo são registrados pelo sistema de gestão de ativos a partir do momento que está máquina pára. Foram recolhidos e tratados dados de falhas reais e as respetivas durações e quantidades de falhas com representação gráfica para se perceber o comportamento dos modos de falha ao longo do tempo.

5.1 Enquadramento

Para a seleção do ativo em questão foi considerado o fato de ser recém-instalado na empresa (janeiro de 2020) e ter sido adquirido de uma das filiais na Europa, não se possuindo histórico de falhas. Foram analisados 4717 paragens e o respetivo tempo de paragem (*downtime*) gerado por cada uma dessas paragens. Para um melhor entendimento, o ativo foi subdividido em seis subsistemas para melhor enquadramento na metodologia RCM. A Figura 12 permite ter uma visão geral do equipamento e seus componentes.

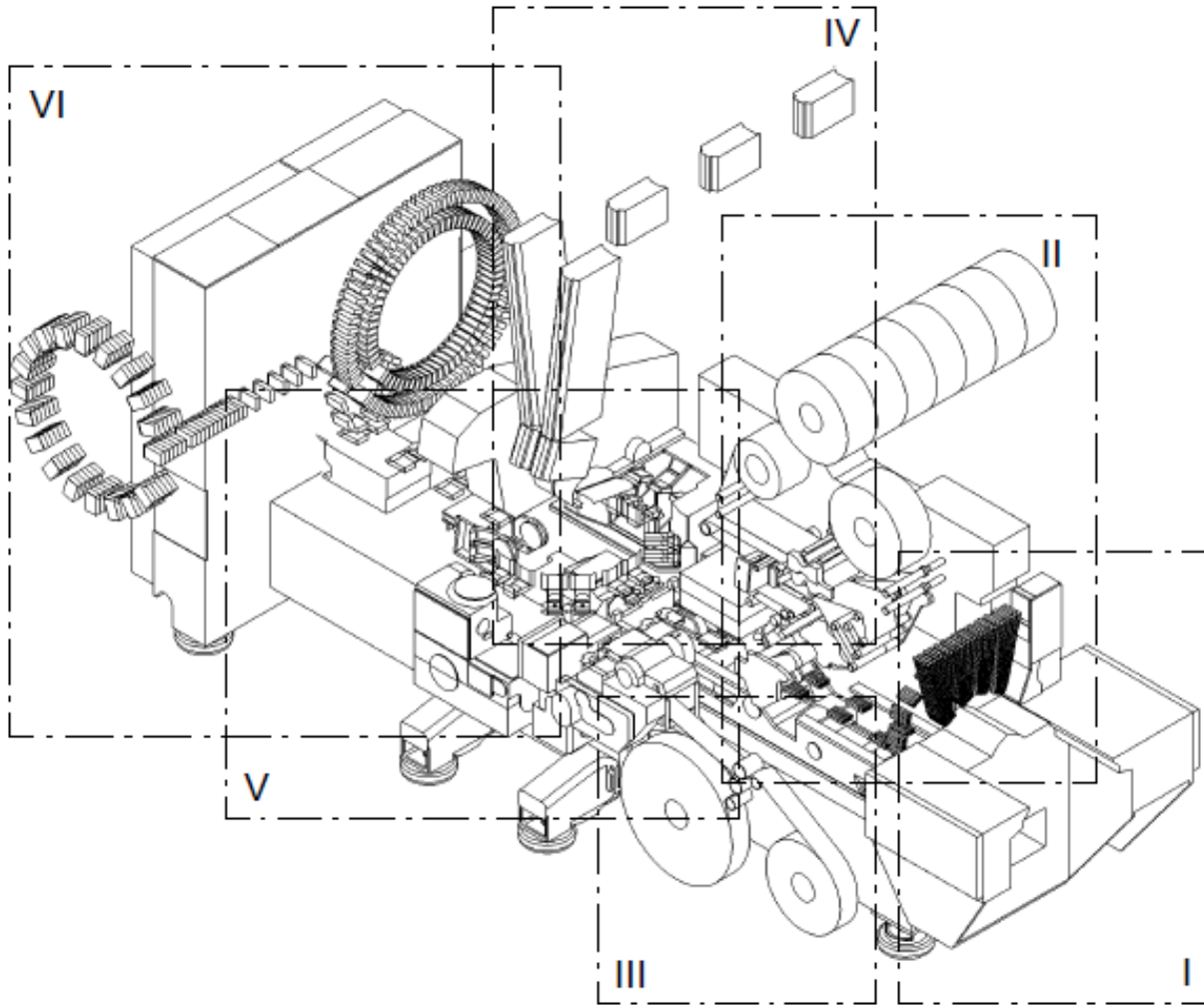


Figura 12 - Visão geral do ativo (emaçadora)
Fonte: FOCKE & CO. (2011).

5.2 Zonas de função do ativo

Tratar-se de um ativo completo, no qual numa mesma máquina se efetuam diferentes etapas do processo de criação do maço, o que torna a operação complexa devido às diversas matérias primas e mudanças de direções do produto ao longo do processo. Para tal, o ativo foi dividido em seis subsistemas chamados zona de função do ativo, no qual este estudo irá basear a sua análise avaliando os dados de falhas a fim de perceber, através da aplicação da metodologia RCM quais as zonas que devem concentrar maior atenção para reduzir a quantidade e tempo de paragens do ativo. Desta forma, o ativo é composto pelas seguintes zonas de função:

5.2.1 Zona I - Alimentação e arrumação dos cigarros

Após passar pelo processo de fabrico através da máquina de cigarros, os mesmo são transportados por telas até chegar ao processo de empacotamento. A primeira etapa a ser processada é a alimentação e arrumação dos cigarros que tem como objetivo preparar e quantificar os cigarros em formas ficando pronto para o envolvimento do *inner liner*. A zona I é composta pelos seguintes elementos:

(1) Tremonha de cigarros

A tremonha de cigarros recebe os cigarros da alimentação e entrega-os ao carregador de cigarros. Os detetores (apalpadores) verificam o fluxo de cigarros e existência de falhas.

(2) Mesa de Tremonha

Através dos empurradores de cigarros na mesa, os cigarros são deslocados da tremonha para uma roda de formas.

(3) Roda de formas

A roda de formas transporta a arrumação de cigarros da tremonha para telas de transporte. Os detetores das pontas de cigarros verificam a quantidade e posição corretas dos cigarros.

(4) Correia de transporte

A correia de transporte, conduz a disposição dos cigarros através de duas vias. O número correto na disposição é verificado pelo detetor da camada superior. Durante o transporte através das vias, as disposições são envolvidas com papel metalizado *inner liner*, formando-se os molhos de cigarros. A Figura 13 mostra a zona ao pormenor.

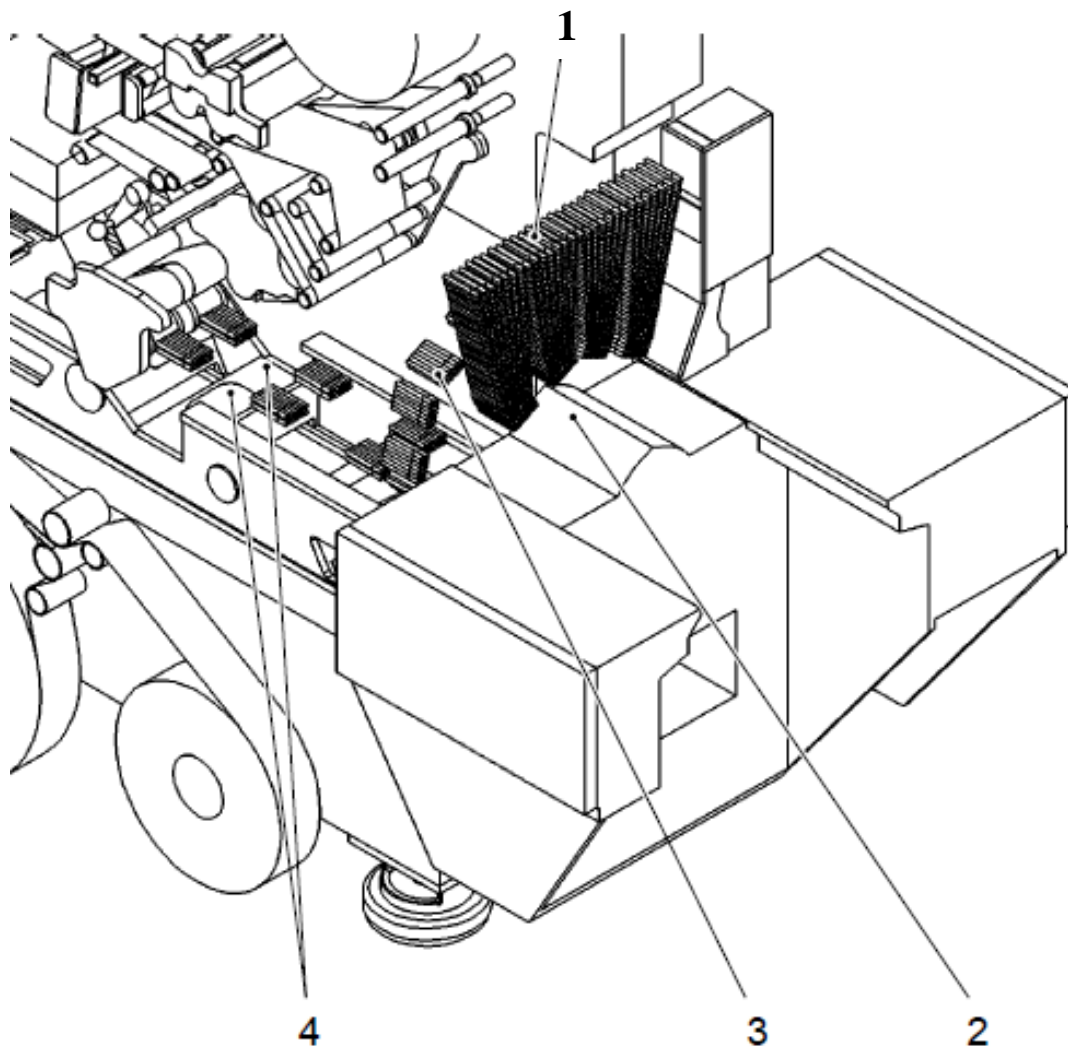


Figura 13 - Alimentação e disposição dos cigarros
Fonte: FOCKE & CO. (2011).

5.2.2 Zona II - Alimentação e corte de papel interno

Uma vez saído da zona de alimentação e arrumação os cigarros são empurrados até a zona de alimentação e corte de papel interno, conhecido como *inner liner*. Está papel interno é marcado através de um processo de gofragem⁶ que tem como objetivo identificar a marca do produto. A zona II é composta pelos seguintes elementos:

⁶ Operação pela qual se marcam ornatos numa encadernação por simples pressão, sem emprego de tinta, ouro ou outro material.

(1) Acumulador de bobinas

O acumulador de bobinas transporta as bobinas de papel metalizado para o braço de transporte de bobinas.

(2) Braço de transporte de bobinas

O braço de transporte de bobinas retira uma bobina do acumulador para o suporte do lado direito ou esquerdo (3).

(3) Unidade de mudança bobinas de *inner liner*

A unidade de mudança, muda automaticamente a bobina quase gasta para a bobina cheia preparada.

(4) Controlo da centragem do *inner liner*

O controlo de centragem controla e aciona a correção de percurso do *inner liner*.

(5) Dispositivo de separação do *inner liner*

O dispositivo de separação do *inner liner* separa o papel de acordo com o comprimento necessário, originando duas vias de papel.

(6) Separação do *inner liner*

A unidade de separação conduz o *inner liner* centralmente dividido para a unidade de estampagem em duas vias.

(7) Braço de tensão

O braço de tensão compensa as irregularidades no tensionamento do *inner liner*. Além disso o braço serve como acumulador.

(9) Aparelho de estampagem

O aparelho de estampagem estampa e vinca o *inner liner*.

(10) transporte através de cigarros

A preparação de cigarros é envolvida com o *inner liner*, formando-se a preparação para envolvimento do rótulo.

(11) Grupo de alimentação e corte

O grupo corta o *inner liner* para o envolvimento dos cigarros juntamente com o *PULL* para o destacamento da folha. A Figura 14 detalha toda a zona.

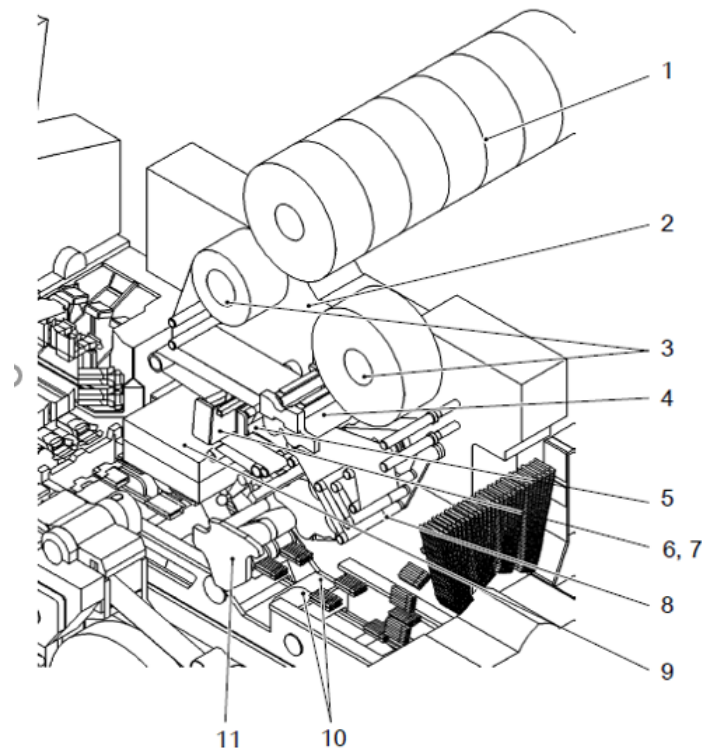


Figura 14 - Alimentação e cortar papel metalizado
Fonte: FOCKE & CO. (2011).

5.2.3 Zona III - Alimentação, vincagem e corte do papel de reforço

Ao chegar na zona de alimentação, vincagem e corte do papel de reforço, este recebe o *inner frame* ou colarinho que é transportado, cortado e dobrado até encontrar-se com a formação do maço vindo da zona II. A inserção deste material tem como objetivo reforçar e estabilizar a formação de cigarros dentro do maço. A zona III é composta pelos seguintes elementos:

(1 e 3) Suporte bobinas do *inner frame*

Os suportes das bobinas do *inner frame* fornecem fixação e assumem o desenrolamento necessário para a produção do reforço.

(2) Unidade de mudança de bobinas

Na unidade de mudança é realizada a troca da bobina vazia para a bobina cheia, previamente preparada.

(4) Unidade de alimentação e corte do *inner frame*

Na unidade de corte do *inner frame* são cortados os reforços individuais.

(5) Unidade de vincagem, corte e alimentação

Na unidade de corte e alimentação, o reforço é cortado por lâminas, vincado por dobradores e transferidos para um transportador transversal.

(6) Descarga transversal do reforço

O transportador transversal faz a ligação da unidade de corte para as vias. Dessa forma, os reforços cortados são transferidos. A Figura 15 detalha toda a zona.

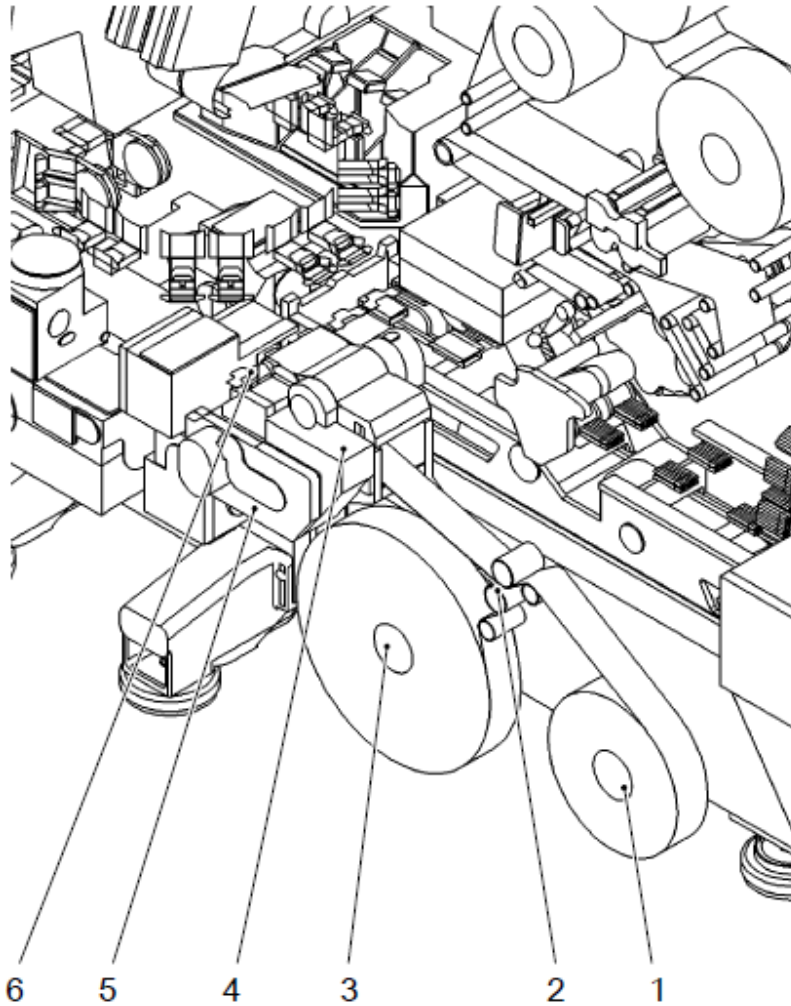


Figura 15 - Alimentação, vincagem e corte do *inner frame* – reforço
Fonte: FOCKE & CO. (2011).

5.2.4 Zona IV - Alimentação do rótulo e aplicação de cola

Nesta zona são alimentados os rótulos dos maços para que estes sejam dobrados e recebam pontos de cola para fixação do papel interno e do reforço. A quantidade e posição desses pontos irão variar de acordo com as especificações que são inerentes a cada marca. Estes rótulos possuem dimensões pré-estabelecidas e a sua alimentação no sistema é feita através de um *robô*, passando por transportadores e empurradores até chegar ao seu destino.

A zona IV é composta pelos seguintes elementos:

- (1) Unidade de alimentação do rótulo

A primeira unidade de alimentação do rótulo pode ser configurada consoante o *layout* composto por diferentes dispositivos de transporte como tapetes, elevadores ou empurradores.

(3) Tela de transporte linear (unidade alimentação do rótulo)

A tela de transporte linear recebe a pilha de rótulos (2) e transporta-a para o carregador (5).

(4) Torres de alimentação dos rótulos (carregador)

Quando os rótulos atingem o nível mínimo, um sensor é ativado. A unidade de alimentação de rótulos (carregador) abre-se e deixa cair uma pilha de rótulos para dentro da torre.

(5) Torre de rótulo

A torre de rótulo assume a pilha de rótulos e reencaminha-os para a unidade de extração.

(6) Estação de pré-dobragem

A estação de pré-dobragem de rótulos codifica, dobra e aplica a cola nos rótulos. Os rótulos são entregues às bolsas da estação de dobragem (7). A Figura 16 detalha toda a zona.

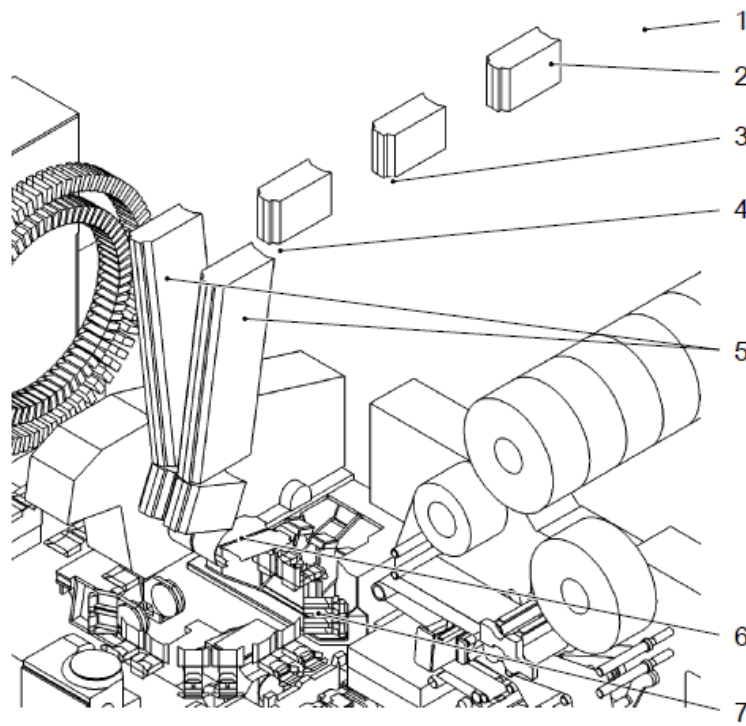


Figura 16 - Alimentação do rótulo e aplicação de cola
Fonte: FOCKE & CO. (2011).

5.2.5 Zona V – Dobragem

A zona de dobragem recebe os rótulos pré-vincados fazendo-o passar por dobradores para tomar a forma de uma pequena caixa denominada, maço. Este maço, ainda vazio, é transferido por uma roda até o ponto de encontro com a arrumação de cigarros, papel interno e papel de reforço. A zona V é composta pelos seguintes elementos:

(1) Plataforma de dobragem

A plataforma de dobragem recebe os molhos de cigarros envolvidos em papel da via de cigarros e os colarinhos do transporte transversal de colarinhos. Os dispositivos dobram o papel no lado do filtro.

(2) Dispositivo de dobragem superior

O dispositivo de dobragem superior empurra o molho de cigarros e o colarinho para fora da plataforma de dobragem.

(3) Dispositivo de dobragem

O dispositivo de dobragem realiza os recortes e roda-os quase uma rotação completa. Durante a rotação o dispositivo de dobragem superior insere o molho de cigarros e colarinho nos recortes.

(4) Via de cartão

A via de cartão assume os maços de cigarros do dispositivo de dobragem. Os lóbulos laterais ainda salientes recebem a aplicação da cola (5) e posterior dobragem.

(6) Elevador

O elevador assume os maços de cigarros da via de cartão e entrega-os ao revólver de transferência.

(7) Revólver de transferência

O revólver de transferência assume os maços de cigarros finalizados do elevador e entrega-os ao dispositivo de inserção.

(8) Alinhador de maços

O alinhador de maços alinha os maços de cigarros depois destes serem elevados para as bolsas do revólver de transferência pelos elevadores. A Figura 17 detalha melhor a zona.

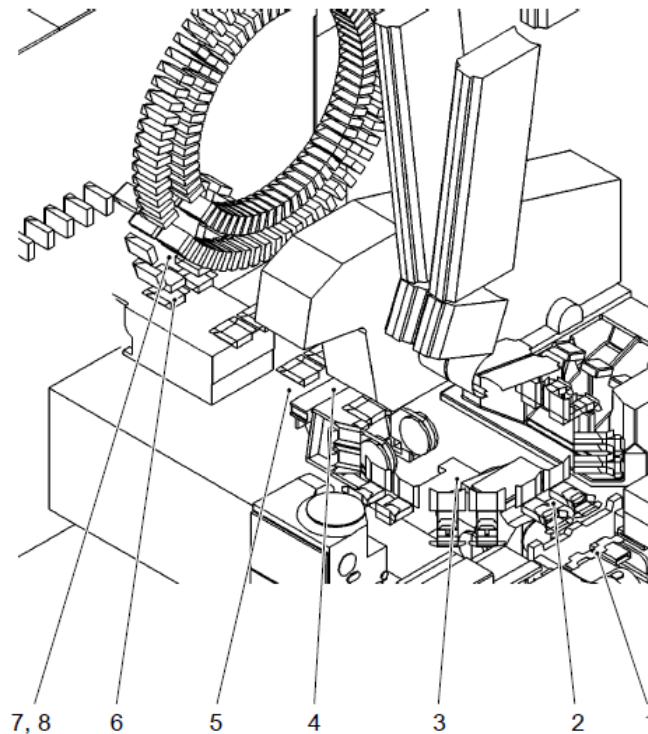


Figura 17 – Dobragem final
Fonte: FOCKE & CO. (2011).

5.2.6 Zona VI - Transporte final e secagem dos maços

Ao receber estes maços, caixa e cigarros, o conjunto é transportado por uma roda de formação onde ocorre o fechamento dos maços através de prensas e dobradores até chegarem na estação de secagem da cola ficando preparados para as outras etapas de embalagem do produto. A zona VI é composta pelos seguintes elementos:

(1) Roda de formação

A roda de formação recebe os maços da boca de entrada e roda-os meia rotação para uma fase de extração.

(2) Empurrador duplo

O movimento de inserção e de extração abastece a roda de formação com maços e empurra-os novamente para fora da roda, após a secagem dos pontos de cola do rótulo.

(3) Elevador de maços

O elevador de maços recebe os mesmos da roda de formação e entrega-os às correias de transporte.

(4) Correias de transporte

As correias de transporte recebem os maços do elevador e empurrador duplo e transporta-os para a roda de secagem.

(5) Segunda roda de secagem

A segunda roda de secagem assume os maços de cigarros da cinta de descarga. A Figura 18 detalha melhor a zona.

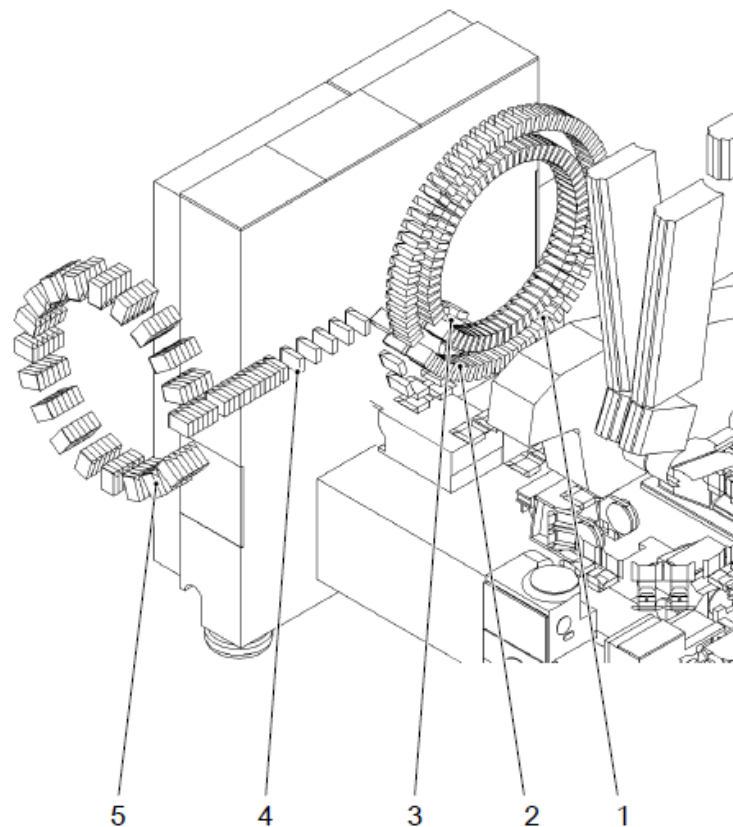


Figura 18 - Transporte final e secagem dos maços

Fonte: FOCKE & CO. (2011).

5.3 Recolha e análise dos dados

A Figura 19 representa a disposição em séries dos ativos.

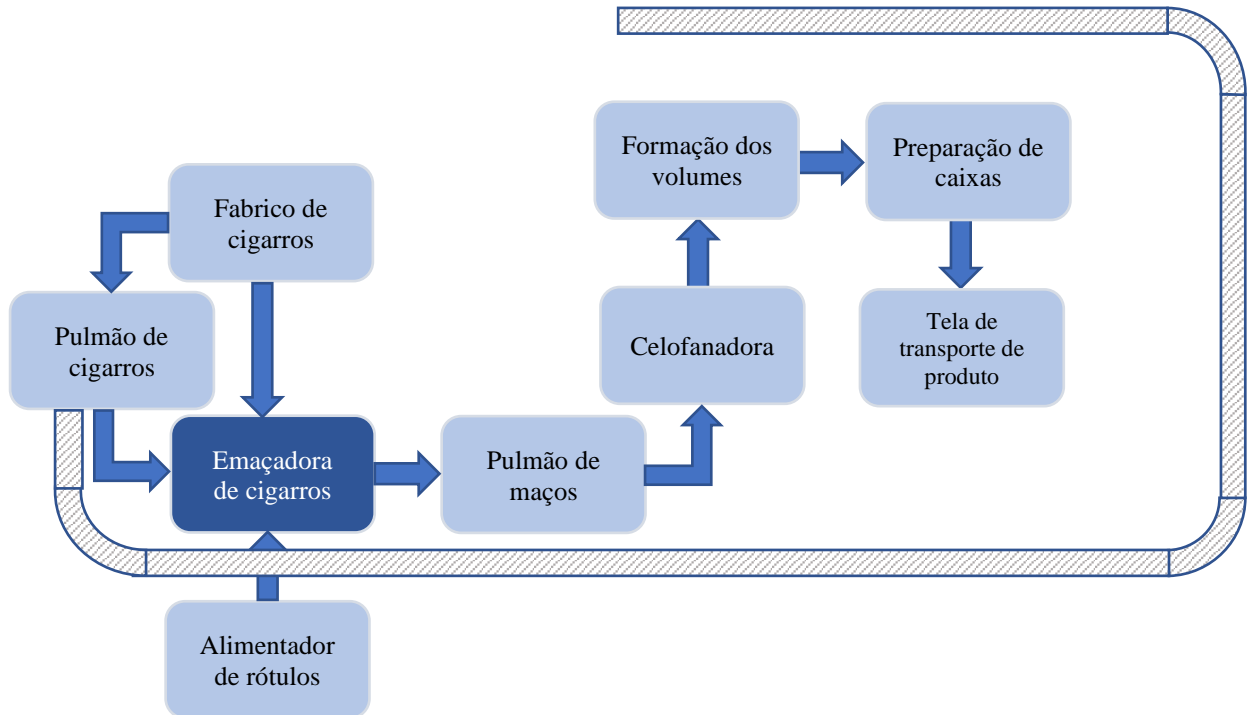


Figura 19 – Visão geral do link up
Fonte: Elaboração própria.

A recolha dos dados foi feita através dos registos operacionais do ativo existentes num sistema integrado de gestão no qual funcionam todos os ativos do *link up* ligados em série. Isso significa que se qualquer um dos ativos parar, entre os quais a emaçadora, um registo de paragens é gerado no sistema. Desta forma os dados foram tratados e analisados através da aplicação Excel, da Microsoft.

5.3.1 Análise dos dados:

Após a devida análise e tratamento dos dados, foi gerado o gráfico de Pareto para perceber os MDF que mais impacto provocaram ao ativo. Esta análise irá dar suporte e direcionamento ao estudo de forma que o mesmo seja mais assertivo, diminuindo o grau de incerteza. Esta análise considera como paragem o intervalo de tempo em que o fenómeno ocorre através da ativação de algum dos diversos sensores existentes no ativo, até ao exato momento em que este volta a

funcionar novamente. A duração desse intervalo poderá variar de acordo com o tipo de paragem, impacto causado, experiência dos técnicos envolvidos e da disponibilidade de recursos sobressalentes e a existência de ferramentas adequadas. A Figura 20 representa o resultado desta análise.

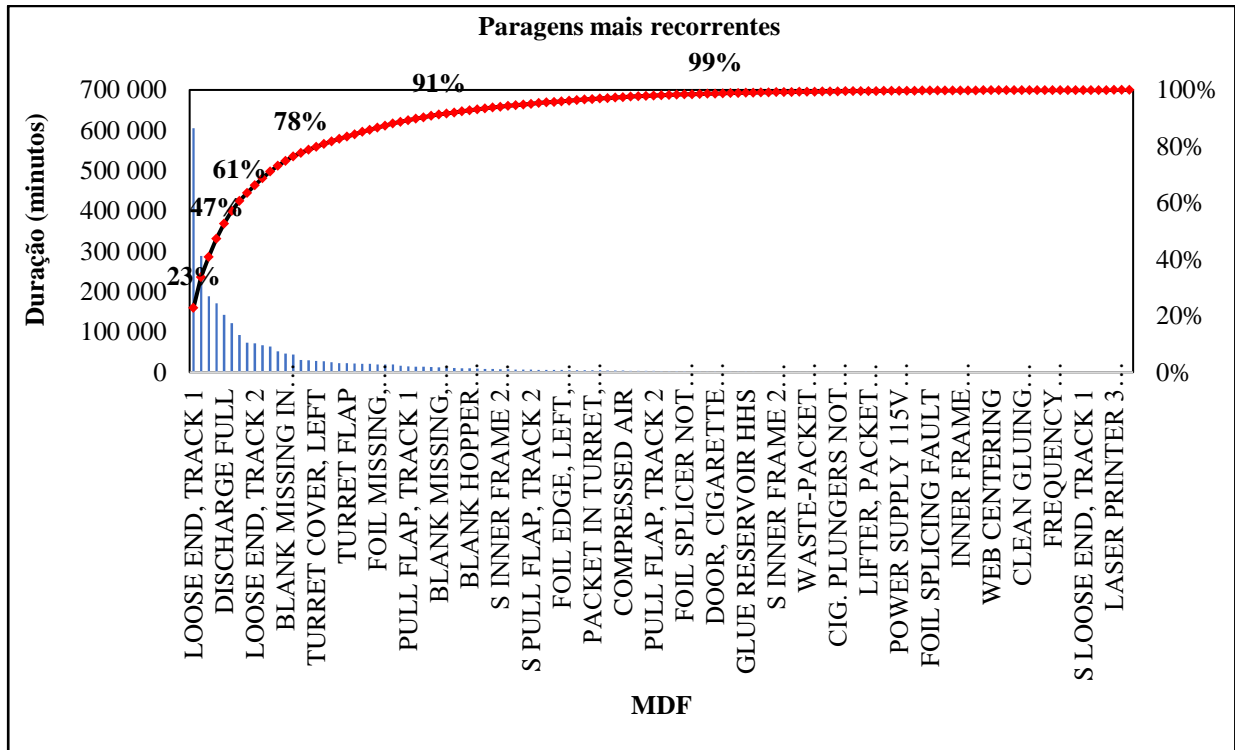


Figura 20 - MDF que mais geraram tempo de paragem ao ativo
Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar o gráfico e através da regra de Pareto, 80/20, constatam-se as 20% maiores falhas funcionais implicam em cerca de 80% de todo o tempo de paragem registado. Para uma melhor compreensão, as falhas mais representativas estão descritas na Tabela 5. Já a Tabela 6 apresenta os 80% dos MDF que mais geraram tempo de paragem do ativo, impedindo-o de cumprir a sua função principal.

Tabela 5 - Análise dos MDF com maior número de acontecimentos

MDF	Nº. de paragens	Paragens acumuladas
CIG. VANES EMPTY	3596	14,74%
MISSING FILTER, TRACK 1	1525	20,99%
LOOSE END, TRACK 1	1496	27,13%
LOOSE END, TRACK 2	1292	32,42%
MISSING FILTER, TRACK 2	1139	37,09%
DISCHARGE FULL	1011	41,24%
TURRET COVER, RIGHT	971	45,22%
S BLANK MISSING, TRACK 2	944	49,09%
PACKET GUIDE, DISCHARGE	937	52,93%
S BLANK MISSING, TRACK 1	877	56,52%
COVER, FOLDING GUIDE 1	855	60,03%
PULL FLAP, TRACK 1	670	62,78%
INNER FRAME IN BENDING STATION	607	65,26%
INFEED PUSHER, DRYING DRUM 1	545	67,50%
INFEED, DRYING DRUM 2	532	69,68%
FOIL MISSING, TRACK 2	508	71,76%
TURRET COVER, LEFT	505	73,83%
REGISTRATION MARK, INNER FRAME	470	75,76%
FOIL MISSING, TRACK 1	384	77,33%
TURRET FLAP	368	78,84%
INNER FRAME SPLICE	359	80,31%

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6 - Dados dos DT dos MDF que representam 80% das falhas funcionais

MDF	DT (min.)	DT acumul (min.)	%	% acumul.	Classificação
LOOSE END, TRACK 1	605087	605087	22,84%	22,84%	A
INFEED PUSHER, DRYING DRUM 1	288395	893482	10,88%	33,72%	A
CIG. VANES EMPTY	188169	1081651	7,10%	40,82%	A
COVER, FOLDING GUIDE 1	171026	1252677	6,45%	47,28%	A
DISCHARGE FULL	142459	1395136	5,38%	52,66%	A
MISSING FILTER, TRACK 1	121657	1516793	4,59%	57,25%	A
PACKET GUIDE, DISCHARGE	92789	1609582	3,50%	60,75%	A
S BLANK MISSING, TRACK 2	73122	1682704	2,76%	63,51%	A
LOOSE END, TRACK 2	71958	1754662	2,72%	66,23%	A
MISSING FILTER, TRACK 2	67038	1821700	2,53%	68,76%	A
INNER FRAME IN BENDING STATION	63611	1885311	2,40%	71,16%	A
TURRET COVER, RIGHT	52307	1937618	1,97%	73,13%	A
BLANK MISSING IN TURRET, TRACK 1	46198	1983816	1,74%	74,87%	A
S BLANK MISSING, TRACK 1	43706	2027522	1,65%	76,52%	A
INFEED, DRYING DRUM 2	30541	2058063	1,15%	77,68%	A
CIG. HOPPER MIN.	29882	2087945	1,13%	78,80%	A
TURRET COVER, LEFT	28269	2116214	1,07%	79,87%	A
PACKET GUIDE, PACKET TRACK 1	27115	2143329	1,02%	80,89%	B

Fonte: Elaboração própria.

Ao comparar estas duas tabelas, percebeu-se que não existe uma relação direta entre a quantidade de paragens e o DT gerado nem mesmo as zonas de funções se repetem. Isto significa que em uma mesma zona os MDF podem ter diferentes consequências para o ativo e devem ser levadas em consideração no momento da criação da FMEA. Deve-se ter a mesma atenção no momento da criação dos planos de manutenção de acordo com a Tabela 7 e a Tabela 8.

Tabela 7 - Quantidade de paragens geradas por cada Zona

MDF	Nº. de paragens	Zona
CIG. VANES EMPTY	3596	I
MISSING FILTER, TRACK 1	1525	I
LOOSE END, TRACK 1	1496	I
LOOSE END, TRACK 2	1292	I
MISSING FILTER, TRACK 2	1139	I
DISCHARGE FULL	1011	VI
TURRET COVER, RIGHT	971	I
S BLANK MISSING, TRACK 2	944	V
PACKET GUIDE, DISCHARGE	937	VI
S BLANK MISSING, TRACK 1	877	V
COVER, FOLDING GUIDE 1	855	V
PULL FLAP, TRACK 1	670	II
INNER FRAME IN BENDING STATION	607	V
INFEED PUSHER, DRYING DRUM 1	545	VI
INFEED, DRYING DRUM 2	532	VI
FOIL MISSING, TRACK 2	508	II
TURRET COVER, LEFT	505	I
REGISTRATION MARK, INNER FRAME	470	III
FOIL MISSING, TRACK 1	384	II
TURRET FLAP	368	I
INNER FRAME SPLICE	359	III

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8 - DT gerado por cada MDF

MDF	DT (min)	Zona
LOOSE END, TRACK 1	605087	I
INFEED PUSHER, DRYING DRUM 1	288395	VI
CIG. VANES EMPTY	188169	I
COVER, FOLDING GUIDE 1	171026	V
DISCHARGE FULL	142459	VI
MISSING FILTER, TRACK 1	121657	I
PACKET GUIDE, DISCHARGE	92789	VI
S BLANK MISSING, TRACK 2	73122	V
LOOSE END, TRACK 2	71958	I
MISSING FILTER, TRACK 2	67038	I
INNER FRAME IN BENDING STATION	63611	V
TURRET COVER, RIGHT	52307	I
BLANK MISSING IN TURRET, TRACK 1	46198	V
S BLANK MISSING, TRACK 1	43706	V
INFEED, DRYING DRUM 2	30541	VI
CIG. HOPPER MIN.	29882	I
TURRET COVER, LEFT	28269	I
PACKET GUIDE, PACKET TRACK 1	27115	VI

Fonte: Elaboração própria.

A partir desta análise também é possível perceber as zonas de funções do ativo que mais acarretaram DT, ou seja, o momento em que o ativo em análise deixa de cumprir a sua função esperada para o processo e a quantidade de paragens, conforme a Figura 21.

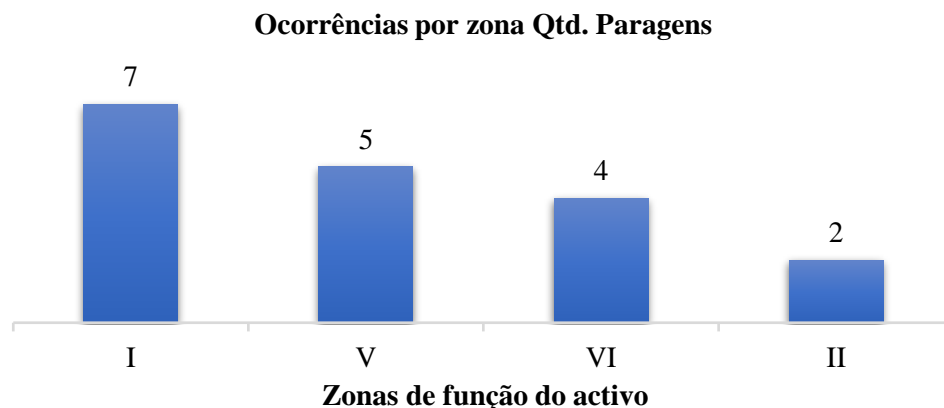


Figura 21 - Zona de funções do ativo que mais geraram paragens em relação aos 80% mais representativos

Fonte: Elaboração própria.

Esta análise demonstra que não houve paragens significativas nas zonas III e IV levando a conclusão de que não devem ser alocados esforços significativos de manutenção nestas zonas.

Já a Figura 22 mostra que em relação ao DT, apenas as zonas I, V e VI apresentam valores significativos, o que leva a conclusão de que estas zonas deverão possuir maiores estudos e adaptações dos Planos de Manutenção.

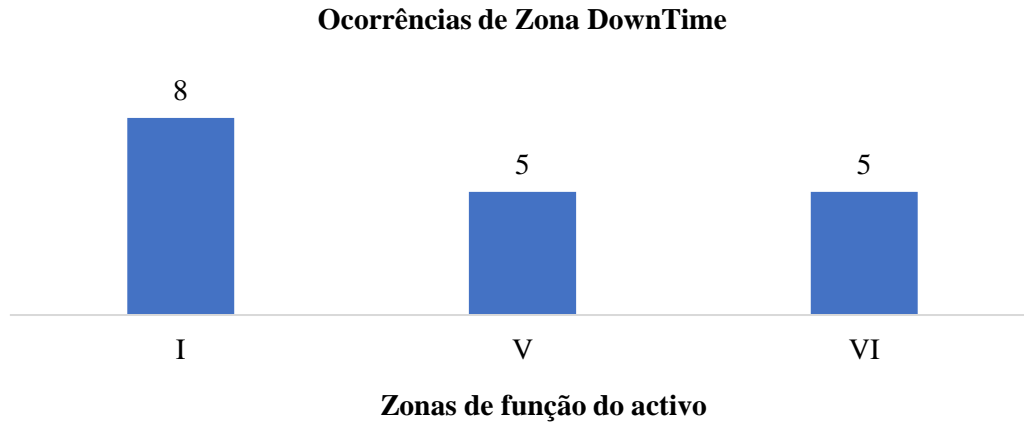


Figura 22 - Zona de funções do ativo que mais geraram DT em relação aos 80% mais representativos
Fonte: Elaboração própria.

5.4 Aplicação da metodologia RCM

De modo a perceber o esforço envolvido e os principais desafios para a aplicação da metodologia RCM, foram aplicados no caso de estudo dados sobre as avarias destes ativos, o manual do fabricante, além dos conhecimentos de operadores e técnicos de manutenção, que lidam diariamente com o ativo. Essa perspectiva irá dar confiança no momento da aplicação da metodologia pois o ativo utiliza-se de uma tecnologia de fabrico muito específica que possui poucos especialistas no tema sem contar com o sigilo que é exigido pelo tipo de negócio.

De acordo com a Norma SAE 1011 (SAE, 2009), a metodologia RCM deverá garantir a sequência dos passos e considerar o histórico e o comportamento das falhas. Assim sendo, a ênfase da metodologia RCM será, portanto, na preservação da função do ativo através da aplicação integrada de tarefas de inspeções periódicas e testes com o intuito de antecipar modos de falhas específicos, eliminando-os antes das falhas ocorrerem ou detetar as falhas precocemente de forma a serem corrigidas com o mínimo de interrupções. Esta preocupação irá permitir um maior conhecimento do ativo pois será baseado em critérios de fiabilidade para determinar as técnicas de manutenção mais apropriadas a cada modo de falha do ativo

conduzindo-o a elevados níveis de segurança, de pessoas e do próprio ativo, além adequada disponibilidade.

Todos esses objetivos somente serão possíveis pelo tratamento e análise que foi realizado, em separado, em diferentes partes do ativo denominadas “zonas”. Esta subdivisão deu-se por se entender que existe um comportamento de falha no funcionamento individual de cada uma zona além de também existir uma interferência no momento de *interface* com uma zona anterior, fazendo com que esta venha a falhar. Para tal, o ativo será dividido em seis subsistemas chamadas “zonas de função” onde a categorização do efeito da falha se dará bem como o diagrama de decisão.

Para esta análise, foi considerado o resultado obtido na Figura 22, onde os MDF mais representativos são os correspondentes as zonas I, V e VI. Desta forma, a Tabela 9 apresenta as respostas às sete questões básicas da metodologia RCM.

Tabela 9 - Sete questões básicas contempladas pela metodologia RCM

RCM	ZONA I	ZONA V	ZONA VI
Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?	Alimentar, arrumar e transportar cigarros.	Formação, dobragem e colagem do maço.	Secagem e transporte dos maços.
De que forma ele falha em cumprir suas funções?	Falha na alimentação de cigarros	Maços mal formados, mal colados, falha na aplicação de cola	Falha na secagem da cola e transporte dos maços
O que causa cada falha funcional?	Falha na alimentação, arrumação e transporte de cigarros.	Falha na dobragem, formação e colagem do rótulo.	Falha na secagem e transferência de maços.
O que acontece quando ocorre cada falha?	Enchimento do funil, <i>vanes</i> vazias, ponta vazia, ausência de filtro, encalhamento nas formas.	Ausência de rótulos, maços mal formados, falha na dobragem do reforço, rótulos tortos.	Falha no sincronismo da correia transportadora de alimentação de maços, maços mal formados, maços mal colados, encalhamento de maços.
De que forma cada falha importa?	Encalhamento de cigarros e paragem da máquina. Perda de produção.	Encalhamento de rótulos, maços, reforço, paragem da máquina. Perda de produção.	Encalhamento de maços. Perda de produção.
O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?	Garantir a conformidade dos produtos, assegurar que as afinações e <i>setup</i> está de acordo com o produto a ser fabricado.	Garantir a conformidade do sistema de transporte e aplicação de rótulos, assegurar o correto funcionamento da estação de dobragem do reforço e sistema de colagem.	Garantir o correto funcionamento do colador de rótulos, assegurar que as afinações e <i>setup</i> está de acordo com o produto a ser fabricado, assegurar que as zonas de dobragem estão isentas de colas.
O que deve ser feito se não for criada uma tarefa proativa apropriada?	Instalar meios de monitorização dos MDF para tentar prevenir que estes ocorram.	Atuar no restabelecimento à condição base da máquina.	Atuar no restabelecimento à condição base da máquina.

Fonte: Elaboração própria.

5.5 FMEA

Para que se possam ser respondidas as sete questões da metodologia RCM, foi desenvolvida uma FMEA, considerando as zonas de função mais representativas e associando a cada MDF um RPN, a fim melhor priorizar os MDF. Para efetuar uma abordagem sistemática e dedutiva que busca identificar algo de errado, defeitos, ou produtos fora da especificação, utilizou-se uma metodologia documentada que permite ainda padronizar os procedimentos e realizar registo de histórico de falhas que poderão ser consultados posteriormente para realizar outras revisões no ativo.

Durante a construção da FMEA e dos níveis de profundidade de estudo dos componentes do ativo, verificou-se que a análise ficaria demasiada complexa e extensa, caso se optasse por efetuar a análise até ao nível mais baixo de componentes. O estudo foi aberto apenas até ao nível dos itens que possuíam alguma função na transformação, transporte e inserção de matéria-prima ao produto, não tendo sido avaliados os motores, veios, quadros elétricos, inversores de potência, sistema de ventilação, caixas de engrenagens e carcaça. Assim sendo, a aplicação da FMEA permitiu ter uma visão macro dos vários cenários do ativo e quais as consequências para o seu funcionamento. De uma forma geral a priorização dos modos de falha para ações corretivas é determinada através do RPN, que é obtido através da multiplicação entre os fatores Severidade, Ocorrência e Detecção.

$$\text{RPN} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D} \quad (8)$$

Para esta análise foram utilizados os conhecimentos do autor do presente trabalho acerca do processo e também a opinião de técnicos e engenheiros especialistas neste tipo de tecnologia empregada ao ativo. As respectivas classificações estão demonstradas na Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12, bem como a classificação de cada MDF de acordo com a faixa de risco do RPN na Tabela 13.

Tabela 10 – Severidade do feito da falha

Efeito	Severidade do efeito	Índice de severidade
Perigo sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação ou envolve não conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio	10
Perigo com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação ou envolve não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio	9
Muito alto	Item inoperável, com perda das funções primárias	8
Alto	Item operável, mas com nível de desempenho reduzido	7
Moderado	Item operável, mas com item de conveniência inoperável	6
Baixo	Item operável, mas com item de conveniência inoperável com nível de desempenho reduzido	5
Muito baixo	Item com forma e acabamento não conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes	4
Menor	Item com forma e acabamento não conforme. Defeito notado pela média dos clientes	3
Muito menor	Item com forma e acabamento não conforme. Defeito notado por clientes acurados	2
Nenhum	Sem efeito	1

Fonte: Elaboração própria, adaptado de (Moura,2000).

Tabela 11 – Probabilidade de ocorrência de falha

Probabilidade de falha	Taxa de falhas possíveis	Índice de ocorrência
Muito alta: falha quase inevitável	≥ 1 em 2	10
	1 em 3	9
Alta: falhas frequentes	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: falhas ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
Baixa: poucas falhas	1 em 2000	4
	1 em 15000	3
Remota: falha é improvável	1 em 150000	2
	≤ 1 em 500000	1

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Ford Motor Company (1988).

Tabela 12 – Probabilidade de detecção da falha

Detecção	Probabilidade de detecção	Índice de detecção
Absoluta certeza	Controlo não irá ou não pode detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo falha ou não existe contolo	10
Muito remota	Possibilidade muito remota que o controlo irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo falha	9
Remota	Possibilidade remota que o controlo irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo falha	8
Muito baixa	Possibilidade muito baixa que o controlo irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo falha	7
Baixa	Possibilidade baixa que o controlo irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo falha	6
Moderada	Possibilidade moderada que o controlo irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo falha	5
Moderadamente alta	Possibilidade moderadamente alta que o controlo irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo falha	4
Alta	Possibilidade alta que o controlo irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo falha	3
Muito alta	Possibilidade muito alta que o controlo irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo falha	2
Quase certamente	O controlo irá quase certamente detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo falha	1

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Ford Motor Company (1988).

Tabela 13 - Matriz de classificação de criticidade

Classificação	Criticidade	Faixa de risco
A	Alta	RPN>500
B	Média	RPN>100 RPN≤500
C	Baixa	RPN>50 RPN≤100
D	Muito baixa	RPN>10 RPN≤50
E	Não Classificada	RPN≤10

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Ford Motor Company (1988).

A Tabela 14 apresenta a FMEA e o respectivo RPN de cada modo de falha. É importante frisar que a presente análise foi realizada com base no histórico de avarias do ativo, o que se pensa trazer maior riqueza e consistência ao presente trabalho.

Tabela 14 - FMEA dos principais MDF

FMEA n°: 01

Equipamento: Emaçadora

Sistema: Empacotamento

Data: 03/09/2020

Zona de Função	Função do subsistema	MDF	Causa do MDF	Efeito do MDF	Consequência do MDF	O	D	S	RPN	CRI
I	Alimentação dos cigarros	<i>Cig. Hopper min.</i>	Falha na alimentação do funil	Formas não são alimentadas.	Máquina pára.	7	1	1	7	E
I	Alimentação dos cigarros	<i>Cig. Vanes empty</i>	Falta de cigarros nas Vanes	Formas não são alimentadas.	Máquina pára.	9	1	1	9	E
I	Alimentação dos cigarros	<i>Loose end</i>	Pontas dos cigarros com falta de tabaco	Produto fora da especificação	Máquina pára.	9	1	2	18	D
I	Alimentação dos cigarros	<i>Missing filter</i>	Ausência de filtro	Encalhamento nos empurradores.	Máquina pára.	9	1	4	36	D
I	Alimentação dos cigarros	<i>Turret cover</i>	Abertura da tampa das formas	Encalhamento nas formas	Máquina pára.	7	1	4	28	D
V	Formação, dobragem e colagem do maço	<i>Blank missing in turret</i>	Rótulos danificados na torre	Ausência de rótulos na torre	Máquina pára.	9	2	4	72	C
V	Formação, dobragem e colagem do maço	<i>Cover, folding guide 1</i>	Alguma matéria prima avariada	Maços mal formados	Máquina pára.	9	3	3	81	C
V	Formação, dobragem e colagem do maço	<i>Inner frame in bending station</i>	Desalinhamento na mudança da bobina	Falha na estação de corte do <i>Inner frame</i>	Máquina pára.	9	4	4	144	B
V	Formação, dobragem e colagem do maço	<i>S blank missing</i>	Rótulos danificados na mesa	Ausência de rótulos na mesa de rótulos	Máquina pára.	9	2	4	72	C
VI	Secagem e transporte	<i>Discharge full</i>	Falha no sincronismo	Encalhamento.	Máquina pára.	9	1	4	36	D
VI	Secagem e transporte	<i>Infeed pusher, drying drum 1</i>	Maços mal formados no empurrador da primeira roda	Encalhamento.	Máquina pára.	10	2	4	80	C
VI	Secagem e transporte	<i>Infeed, drying drum 2</i>	Maços mal formados no empurrador da segunda roda	Encalhamento.	Máquina pára.	7	3	4	84	C
VI	Secagem e transporte	<i>Packet guide, discharge</i>	Maços mal formados na saída da primeira roda	Encalhamento.	Máquina pára.	9	3	4	108	B
VI	Secagem e transporte	<i>Packet guide, packet</i>	Maços mal formados	Encalhamento.	Máquina pára.	7	3	4	84	C

Fonte: Elaboração própria.

5.6 Aplicação do AHP

Em determinados casos, é fácil identificar quais são as alternativas mais relevantes de um problema. Em outros casos, faz-se necessário defini-las. Por isso a decisão de se utilizar um método que incorpora julgamentos e valores pessoais seguindo uma lógica. Até porque, julgamentos, valores ou ideias podem ser questionáveis, fortalecidos ou enfraquecidos por evidências. Para decidir problemas complexos e desenvolver julgamentos, foi optado pela utilização do método AHP neste caso de estudo.

Para que esse modelo obtivesse sucesso, foi necessário atender algumas premissas básicas: imaginação, experiência e conhecimento para estruturar a hierarquia dos MDF. Outro ponto importante foi a coerência, intuição e experiência para fazer julgamentos pois, qualquer problema que utilize o AHP requer previamente o entendimento por parte de quem analisa, e de quê ideias, julgamentos e fatos emitidos pelas pessoas são características essenciais do problema.

Assim sendo e já tendo identificado todos os modos de falhas do ativo em análise que necessitam de ação imediata, o próximo passo será o da hierarquização dos MDF para melhor construção do diagrama de decisão. Nesta análise, não foram identificados MDF com criticidade A - (alta), ou seja, $RPN > 500$. Serão avaliados apenas os MDF que possuem criticidade B e C, média e baixa, uma vez que os restantes possuem criticidade pouco relevantes.

5.6.1.1 Construção da hierarquia

A hierarquia foi definida com base nos resultados da análise dos MDF com maior *Downtime* e os com maior número de ocorrências. Também será acrescentado o parâmetro – TEMPO DE RESOLUÇÃO – para servir como meio de “desempate” no cruzamento dos itens em questão de acordo com a Figura 23 - Hierarquia de decisão.

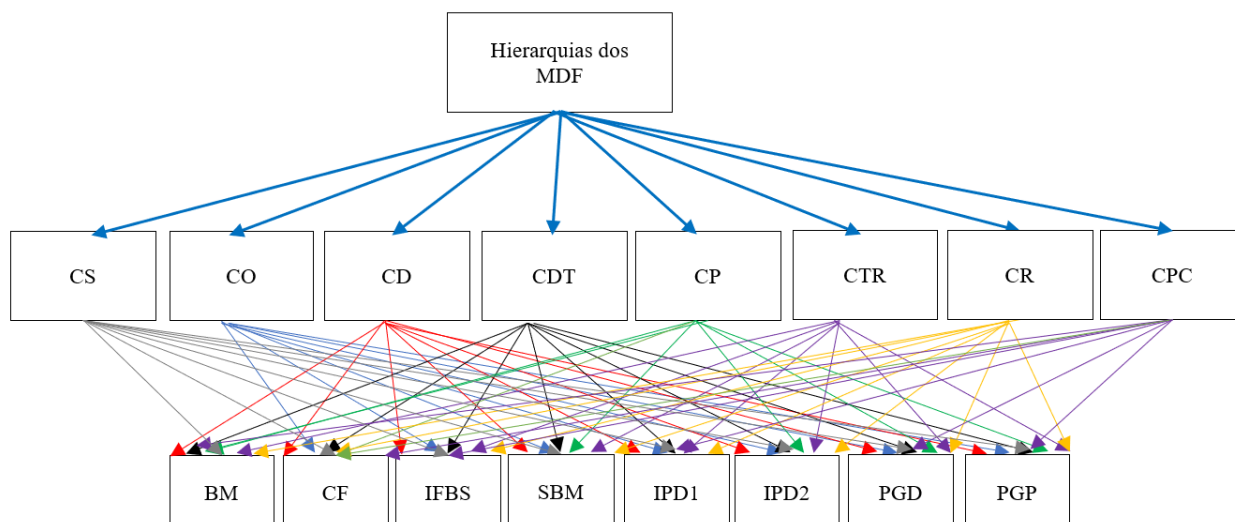


Figura 23 - Hierarquia de decisão
 Fonte: Elaboração própria.

Para facilitar o entendimento define-se a seguinte nomenclatura para os MDF e critérios conforme Tabela 15 e Tabela 16.

Tabela 15 - Nomenclaturas das alternativas em análise

Sigla	Nomenclatura
BM	<i>Blank missing in turret</i>
CF	<i>Cover, folding guide 1</i>
IFBS	<i>Inner frame in bending station</i>
SBM	<i>S blank missing</i>
IPD1	<i>Infeed pusher, drying drum 1</i>
IPD2	<i>Infeed pusher, drying drum 2</i>
PGD	<i>Packet guide, discharge</i>
PGP	<i>Packet guide, packet</i>

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 16 - Nomenclatura dos critérios em análise

Sigla	Nomenclatura
CS	Critério Severidade
CO	Critério Ocorrência
CD	Critério Detecção
CDT	Critério Downtime
CP	Critério Paragens
CTR	Critério Tempo de Resolução
CR	Critério Rejeição
CPC	Critério Produtos Conformes

Fonte: Elaboração própria.

Será construída a matriz de comparação par-a-par para determinar os critérios de escolha, definido pelo autor, em relação ao objetivo global de MDF com maior impacto no ativo para construção do diagrama de RCM conforme Tabela 17.

Tabela 17 - Matriz comparação de critérios

	CS	CO	CD	CDT	CP	CTR	CR	CPC
CS	1	2	1/2	1/3	2	2	2	2
CO	1/2	1	1/2	1/3	1/2	1/2	2	2
CD	2	2	1	1/3	1/2	1/2	2	2
CDT	3	3	3	1	2	1/2	2	2
CP	1/2	2	2	1/2	1	2	2	2
CTR	1/2	2	2	2	1/2	1	2	2
CR	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2
CPC	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	2	1
Soma	8,50	13,00	10,00	5,50	7,50	7,50	15,00	13,50

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez preenchida a tabela, constrói-se a matriz normalizada, dividindo cada elemento pelo seu respectivo somatório da coluna bem como o vetor prioridade como sendo o somatório de cada linha normalizada dividido pelo número de colunas da matriz da Tabela 18.

Tabela 18 - Matriz comparação de critérios normalizada

	CS	CO	CD	CDT	CP	CTR	CR	CPC	Vetor prioridade
CS	0,1176	0,1538	0,0500	0,0606	0,2667	0,2667	0,1333	0,1481	0,1496
CO	0,0588	0,0769	0,0500	0,0606	0,0667	0,0667	0,1333	0,1481	0,0826
CD	0,2353	0,1538	0,1000	0,0606	0,0667	0,0667	0,1333	0,1481	0,1206
CDT	0,3529	0,2308	0,3000	0,1818	0,2667	0,0667	0,1333	0,1481	0,2100
CP	0,0588	0,1538	0,2000	0,0909	0,1333	0,2667	0,1333	0,1481	0,1481
CTR	0,0588	0,1538	0,2000	0,3636	0,0667	0,1333	0,1333	0,1481	0,1572
CR	0,0588	0,0385	0,0500	0,0909	0,0667	0,0667	0,0667	0,0370	0,0594
CPC	0,0588	0,0385	0,0500	0,0909	0,0667	0,0667	0,1333	0,0741	0,0724
Soma	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0000

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com os resultados apresentados, tem-se:

- 1) O critério Downtime é o mais importante com 21,00%;
- 2) O tempo de resolução é o segundo mais importante com 15,72%;
- 3) O terceiro mais importante é o critério Severidade com 14,96%;

- 4) O critério Tempo de Paragem é o quarto mais importante com 14,81%;
- 5) O critério Detecção é o quinto mais importante com 12,06%;
- 6) A Ocorrência é o sexto critério mais importante com 8,26%;
- 7) O critério Produtos conformes é o sétimo mais importante 7,24%;
- 8) O critério Rejeição é oitavo com 5,94%.

Em seguida serão apresentadas nas Tabela 19 a Tabela 35 as comparações par-a-par das alternativas relativas a cada critério.

Tabela 19 – Matriz comparação critério severidade

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP
BM	1	2	1/3	1/4	1/4	1/2	1/2	1/3
CF	1/2	1	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2	1/3
IFBS	3	4	1	1/2	1/2	3	3	2
SBM	4	4	2	1	1/2	3	3	3
IPD1	4	4	2	2	1	4	5	3
IPD2	2	1/3	1/3	1/4	1/4	1	1/2	1/3
PGD	2	2	1/3	1/3	2	2	1	1/2
PGP	3	3	1/2	1/3	3	2	2	1
Soma	19,50	20,33	6,75	4,92	7,75	15,83	15,50	10,50

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 20 - Matriz comparação critério severidade normalizada

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP	Vetor Prioridade
BM	0,0513	0,0984	0,0494	0,0508	0,0323	0,0316	0,0323	0,0317	0,0472
CF	0,0256	0,0492	0,0370	0,0508	0,0323	0,0211	0,0323	0,0317	0,0350
IFBS	0,1538	0,1967	0,1481	0,1017	0,0645	0,1895	0,1935	0,1905	0,1548
SBM	0,2051	0,1967	0,2963	0,2034	0,0645	0,1895	0,1935	0,2857	0,2043
IPD1	0,2051	0,1967	0,2963	0,4068	0,1290	0,2526	0,3226	0,2857	0,2619
IPD2	0,1026	0,0164	0,0494	0,0508	0,0323	0,0632	0,0323	0,0317	0,0473
PGD	0,1026	0,0984	0,0494	0,0678	0,2581	0,1263	0,0645	0,0476	0,1018
PGP	0,1538	0,1475	0,0741	0,0678	0,3871	0,1263	0,1290	0,0952	0,1476
Soma	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0000

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 21 - Comparação critério ocorrência

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP
BM	1	1/4	1	1/2	1/3	3	1/2	1/2
CF	4	1	5	4	2	6	3	3
IFBS	1/2	1/5	1	1/3	1/5	2	1/4	1/5
SBM	2	1/4	3	1	1/3	4	1/2	1/2
IPD1	3	1/2	5	3	1	6	2	2
IPD2	1/3	1/6	1/2	1/4	1/6	1	1/4	1/4
PGD	2	1/3	4	2	1/2	4	1	1/4
PGP	2	1/3	5	2	1/2	4	4	1
Soma	14,83	3,03	24,50	13,08	5,03	30,00	11,50	7,70

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 22 - Matriz comparação critério ocorrência normalizada

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP	Vetor prioridade
BM	0,0674	0,0824	0,0408	0,0382	0,0662	0,1000	0,0435	0,0649	0,0629
CF	0,2697	0,3297	0,2041	0,3057	0,3974	0,2000	0,2609	0,3896	0,2946
IFBS	0,0337	0,0659	0,0408	0,0255	0,0397	0,0667	0,0217	0,0260	0,0400
SBM	0,1348	0,0824	0,1224	0,0764	0,0662	0,1333	0,0435	0,0649	0,0905
IPD1	0,2022	0,1648	0,2041	0,2293	0,1987	0,2000	0,1739	0,2597	0,2041
IPD2	0,0225	0,0549	0,0204	0,0191	0,0331	0,0333	0,0217	0,0325	0,0297
PGD	0,1348	0,1099	0,1633	0,1529	0,0993	0,1333	0,0870	0,0325	0,1141
PGP	0,1348	0,1099	0,2041	0,1529	0,0993	0,1333	0,3478	0,1299	0,1640
Soma	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0000

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 23 - Matriz comparação critério detecção

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP
BM	1	1/2	2	1/2	1/3	2	4	3
CF	2	1	3	2	1/2	3	6	5
IFBS	1/2	1/3	1	1/2	1/4	2	4	2
SBM	2	1/2	2	1	1/2	3	5	3
IPD1	3	2	4	2	1	5	7	6
IPD2	1/2	1/3	1/2	1/3	1/5	1	2	2
PGD	1/4	1/6	1/4	1/5	1/7	1/2	1	1/2
PGP	1/3	1/5	1/2	1/3	1/6	1/2	2	1
Soma	9,58	5,03	13,25	6,87	3,09	17,00	31,00	22,50

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 24 - Matriz comparação critério detecção normalizada

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP	vetor prioridade
BM	0,1043	0,0993	0,1509	0,0728	0,1078	0,1176	0,1290	0,1333	0,1144
CF	0,2087	0,1987	0,2264	0,2913	0,1617	0,1765	0,1935	0,2222	0,2099
IFBS	0,0522	0,0662	0,0755	0,0728	0,0808	0,1176	0,1290	0,0889	0,0854
SBM	0,2087	0,0993	0,1509	0,1456	0,1617	0,1765	0,1613	0,1333	0,1547
IPD1	0,3130	0,3974	0,3019	0,2913	0,3233	0,2941	0,2258	0,2667	0,3017
IPD2	0,0522	0,0662	0,0377	0,0485	0,0647	0,0588	0,0645	0,0889	0,0602
PGD	0,0261	0,0331	0,0189	0,0291	0,0462	0,0294	0,0323	0,0222	0,0297
PGP	0,0348	0,0397	0,0377	0,0485	0,0539	0,0294	0,0645	0,0444	0,0441
Soma	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0000

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 25 - Matriz comparação critério DT

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP
BM	1	1/3	2	1/2	1/4	3	1/2	4
CF	3	1	4	2	1/2	5	2	7
IFBS	1/2	1/4	1	1/2	5	3	1/3	4
SBM	2	1/2	2	1	1/3	3	1/2	5
IPD1	4	2	1/5	3	1	7	2	8
IPD2	1/3	1/5	1/3	1/3	1/7	1	1/6	2
PGD	2	1/2	3	2	1/2	6	1	6
PGP	1/4	1/7	1/4	1/5	1/8	1/2	1/6	1
Soma	13,08	4,93	12,78	9,53	7,85	28,50	6,67	37,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 26 - Matriz comparação critério DT normalizada

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP	Vetor Prioridade
BM	0,0764	0,0677	0,1565	0,0524	0,0318	0,1053	0,0750	0,1081	0,0842
CF	0,2293	0,2030	0,3129	0,2098	0,0637	0,1754	0,3000	0,1892	0,2104
IFBS	0,0382	0,0507	0,0782	0,0524	0,6368	0,1053	0,0500	0,1081	0,1400
SBM	0,1529	0,1015	0,1565	0,1049	0,0425	0,1053	0,0750	0,1351	0,1092
IPD1	0,3057	0,4060	0,0156	0,3147	0,1274	0,2456	0,3000	0,2162	0,2414
IPD2	0,0255	0,0406	0,0261	0,0350	0,0182	0,0351	0,0250	0,0541	0,0324
PGD	0,1529	0,1015	0,2347	0,2098	0,0637	0,2105	0,1500	0,1622	0,1607
PGP	0,0191	0,0290	0,0196	0,0210	0,0159	0,0175	0,0250	0,0270	0,0218
Soma	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0000

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 27 - Matriz comparação critério paragens

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP
BM	1	1/4	1/4	1/3	1/5	2	1/3	3
CF	4	1	2	3	1/2	6	2	7
IFBS	4	1/2	1	2	1/2	5	2	6
SBM	3	1/3	1/2	1	4	3	1/2	6
IPD1	5	2	2	1/4	1	7	3	8
IPD2	1/2	1/6	1/5	1/3	1/7	1	1/4	2
PGD	3	1/2	1/2	2	1/3	4	1	5
PGP	1/3	1/7	1/6	1/6	1/8	1/2	1/5	1
Soma	20,83	4,89	6,62	9,08	6,80	28,50	9,28	38,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 28 - Matriz comparação critério paragens normalizada

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP	Vetor Prioridade
BM	0,0480	0,0511	0,0378	0,0367	0,0294	0,0702	0,0359	0,0789	0,0485
CF	0,1920	0,2044	0,3023	0,3303	0,0735	0,2105	0,2154	0,1842	0,2141
IFBS	0,1920	0,1022	0,1511	0,2202	0,0735	0,1754	0,2154	0,1579	0,1610
SBM	0,1440	0,0681	0,0756	0,1101	0,5881	0,1053	0,0539	0,1579	0,1629
IPD1	0,2400	0,4088	0,3023	0,0275	0,1470	0,2456	0,3232	0,2105	0,2381
IPD2	0,0240	0,0341	0,0302	0,0367	0,0210	0,0351	0,0269	0,0526	0,0326
PGD	0,1440	0,1022	0,0756	0,2202	0,0490	0,1404	0,1077	0,1316	0,1213
PGP	0,0160	0,0292	0,0252	0,0183	0,0184	0,0175	0,0215	0,0263	0,0216
Soma	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0000

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 29 - Matriz comparação critério tempo de resolução

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP
BM	1	2	2	1/2	1/3	5	4	3
CF	1/2	1	2	1/2	1/4	4	3	2
IFBS	1/2	1/2	1	3	6	4	2	2
SBM	2	2	1/3	1	1/2	6	5	4
IPD1	3	4	1/6	2	1	8	7	6
IPD2	1/5	1/4	1/4	1/6	1/8	1	1/2	1/3
PGD	1/4	1/3	1/2	1/5	1/7	2	1	1/2
PGP	1/3	1/2	1/2	1/4	1/6	3	2	1
Soma	7,78	10,58	6,75	7,62	8,52	33,00	24,50	18,83

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 30 - Matriz comparação critério tempo de resolução normalizada

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP	Vetor prioridade
BM	0,1285	0,1890	0,2963	0,0656	0,0391	0,1515	0,1633	0,1593	0,1491
CF	0,0642	0,0945	0,2963	0,0656	0,0294	0,1212	0,1224	0,1062	0,1125
IFBS	0,0642	0,0472	0,1481	0,3939	0,7044	0,1212	0,0816	0,1062	0,2084
SBM	0,2570	0,1890	0,0494	0,1313	0,0587	0,1818	0,2041	0,2124	0,1604
IPD1	0,3854	0,3780	0,0247	0,2626	0,1174	0,2424	0,2857	0,3186	0,2518
IPD2	0,0257	0,0236	0,0370	0,0219	0,0147	0,0303	0,0204	0,0177	0,0239
PGD	0,0321	0,0315	0,0741	0,0263	0,0168	0,0606	0,0408	0,0265	0,0386
PGP	0,0428	0,0472	0,0741	0,0328	0,0196	0,0909	0,0816	0,0531	0,0553
Soma	1	1	1	1	1	1	1	1	1,000

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 31 - Matriz comparação critério rejeição

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP
BM	1	1/4	1/2	1/5	1/2	3	1/4	4
CF	4	1	2	1/2	3	6	2	7
IFBS	2	1/2	1	1/3	2	4	1/2	5
SBM	5	2	3	1	4	6	2	9
IPD1	2	1/3	1/2	1/4	1	3	1/3	4
IPD2	1/3	1/6	1/4	1/6	1/3	1	1/5	2
PGD	4	1/2	2	1/2	3	5	1	6
PGP	1/4	1/7	1/5	1/9	1/4	1/2	1/6	1
Soma	18,58	4,89	9,45	3,06	14,08	28,50	6,45	38,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 32 - Matriz comparação critério rejeição normalizada

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP	vetor prioridade
BM	0,0538	0,0511	0,0529	0,0653	0,0355	0,1053	0,0388	0,1053	0,0635
CF	0,2152	0,2044	0,2116	0,1633	0,2130	0,2105	0,3101	0,1842	0,2141
IFBS	0,1076	0,1022	0,1058	0,1089	0,1420	0,1404	0,0775	0,1316	0,1145
SBM	0,2691	0,4088	0,3175	0,3267	0,2840	0,2105	0,3101	0,2368	0,2954
IPD1	0,1076	0,0681	0,0529	0,0817	0,0710	0,1053	0,0517	0,1053	0,0804
IPD2	0,0179	0,0341	0,0265	0,0544	0,0237	0,0351	0,0310	0,0526	0,0344
PGD	0,2152	0,1022	0,2116	0,1633	0,2130	0,1754	0,1550	0,1579	0,1742
PGP	0,0135	0,0292	0,0212	0,0363	0,0178	0,0175	0,0258	0,0263	0,0234
Soma	1	1	1	1	1	1	1	1	1,000

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 33 - Matriz comparação critério produtos conformes

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP
BM	1	1/6	1/4	1/7	1/2	1/2	1/5	2
CF	6	1	2	1/2	4	3	2	8
IFBS	4	1/2	1	1/3	2	3	1/2	6
SBM	7	2	3	1	4	5	2	9
IPD1	2	1/4	1/2	1/4	1	2	1/3	4
IPD2	2	1/3	1/3	1/5	1/2	1	1/4	3
PGD	5	1/2	2	1/2	3	4	1	7
PGP	2	1/8	1/6	1/9	1/4	1/3	1/7	1
Soma	29,00	4,88	9,25	3,04	15,25	18,83	6,43	40,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 34 - Matriz comparação critério produtos conformes normalizada

	BM	CF	IFBS	SBM	IPD1	IPD2	PGD	PGP	vetor prioridade
BM	0,0345	0,0342	0,0270	0,0470	0,0328	0,0265	0,0311	0,0500	0,0354
CF	0,2069	0,2051	0,2162	0,1646	0,2623	0,1593	0,3112	0,2000	0,2157
IFBS	0,1379	0,1026	0,1081	0,1097	0,1311	0,1593	0,0778	0,1500	0,1221
SBM	0,2414	0,4103	0,3243	0,3292	0,2623	0,2655	0,3112	0,2250	0,2962
IPD1	0,0690	0,0513	0,0541	0,0823	0,0656	0,1062	0,0519	0,1000	0,0725
IPD2	0,0690	0,0684	0,0360	0,0658	0,0328	0,0531	0,0389	0,0750	0,0549
PGD	0,1724	0,1026	0,2162	0,1646	0,1967	0,2124	0,1556	0,1750	0,1744
PGP	0,0690	0,0256	0,0180	0,0366	0,0164	0,0177	0,0222	0,0250	0,0288
Soma	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,0000

Fonte: Elaboração própria.

Cálculo do peso relativo (PR) multiplicado pelo vetor prioridade dos critérios (VPC) para cada MDF.

Tabela 35 - Cálculo do peso dos MDF em relação aos critérios

	CS	CO	CD	CDT	CP	CTR	CR	CPC	VPC	PR*VPC
BM	0,0472	0,0629	0,1144	0,0842	0,0485	0,1491	0,0635	0,0354	0,1496	0,0807
CF	0,0350	0,2946	0,2099	0,2104	0,2141	0,1125	0,2141	0,2157	0,0826	0,1768
IFBS	0,1548	0,0400	0,0854	0,1400	0,1610	0,2084	0,1145	0,1221	0,1206	0,1384
SBM	0,2043	0,0905	0,1547	0,1092	0,1629	0,1604	0,2954	0,2962	* 0,2100	= 0,1680
IPD1	0,2619	0,2041	0,3017	0,2414	0,2381	0,2518	0,0804	0,0725	0,1481	0,2280
IPD2	0,0473	0,0297	0,0602	0,0324	0,0326	0,0239	0,0344	0,0549	0,1572	0,0382
PGD	0,1018	0,1141	0,0297	0,1607	0,1213	0,0386	0,1742	0,1744	0,0594	0,1090
PGP	0,1476	0,1640	0,0441	0,0218	0,0216	0,0553	0,0234	0,0288	0,0724	0,0609

Fonte: Elaboração própria.

5.6.1.2 Consistência lógica

Antes de se avançar para a análise das alternativas, procedeu-se à análise de consistência lógica.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_i \cdot \frac{Aw}{w_i} \quad (6)$$
$$= \frac{1}{8} \times \left(\frac{0,0807}{0,1496} \right) + \left(\frac{0,1768}{0,0826} \right) + \left(\frac{0,1364}{0,1206} \right) + \left(\frac{0,1680}{0,2100} \right) + \left(\frac{0,2280}{0,1481} \right) + \left(\frac{0,0382}{0,1572} \right) + \left(\frac{0,1090}{0,0594} \right) + \left(\frac{0,6909}{0,0724} \right) = 8,8248$$

$$n = 8;$$

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

$$CI = \frac{8,8248 - 8}{8 - 1} = 0,1178$$

Para RI = 1,41 (Tabela 3), efetua-se o cálculo do CR:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CR = \frac{0,1178}{1,41} = 0,08$$

A matriz de decisão é considerada consistente tendo $n \geq 4$, $RC \leq 0,10$. Logo, $0,08 \leq 0,10$.

5.7 Interpretação dos resultados

Após a implementação do AHP, e com base na multiplicação da matriz dos pesos dos MDF pelo peso dos critérios, obtiveram-se os seguintes resultados, conforme Figura 24.

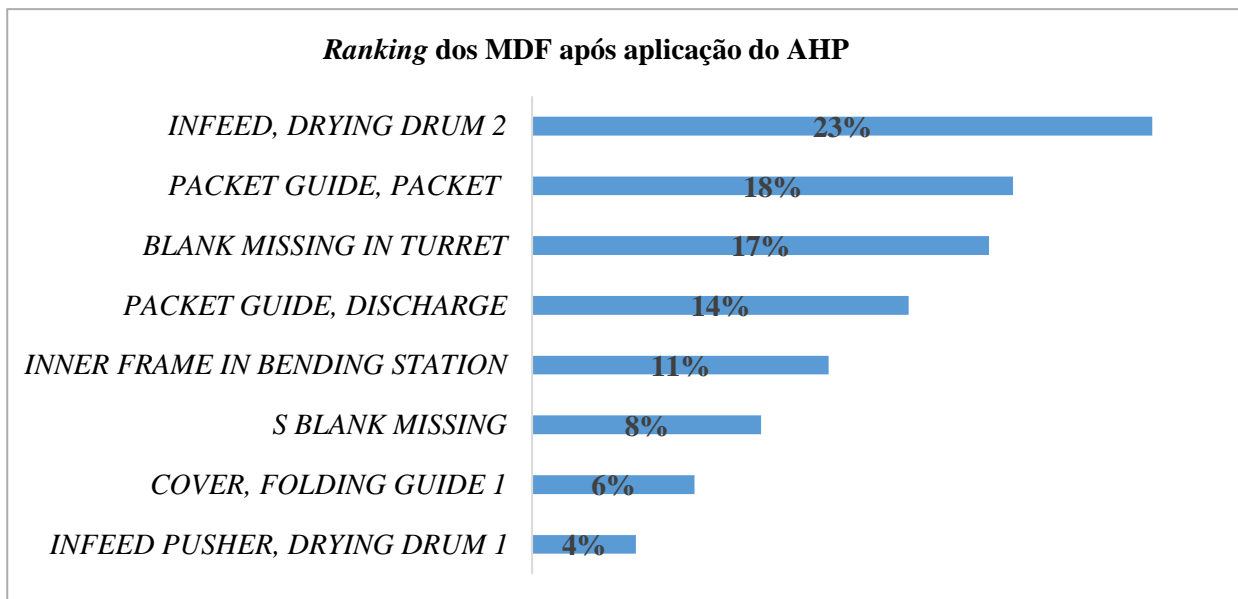


Figura 24 – Resultado da hierarquização dos MDF
Fonte: Elaboração própria.

Analisando os resultados obtidos após aplicação do método AHP, constatou-se que os seguintes MDF: *infeed pusher, drying drum 1 – cover, folding guide 1 - packet guide, discharge – S blank missing – packet guide, packet e infeed, drying drum 2*, representam 89% das paragens que mais geraram impacto ao ativo e estão diretamente relacionados com a formação do maço. Esta formação ocorre nas etapas do processo relacionadas a alimentação e dobragem dos rótulos e aplicação dos pontos de cola. Estas etapas irão garantir que a caixa esteja formada corretamente e preparada para receber o conjunto *inner liner* e cigarros. Outro fator que deve ser considerado nestes tipos de paragens é o estado de conservação das correias. Afrouxamento, desalinhamento, desgaste e deformação são falhas que também poderão provocar deformação do maço e consequentemente estes tipos de paragens.

Nos resultados apresentados pela aplicação do modelo AHP, a paragem *inner frame in bending station* representou os 11% restantes que estão diretamente relacionados ao grupo do *inner frame* ou reforço. Ou seja, o desgaste dos rolos de dobragem, correias com desgaste, rolos de pressão

com desgaste, desgaste da lâmina de corte do grupo de *inner frame*, poderão ocasionar falha na dobração ou corte do reforço, vindo a causar a paragem.

A aplicação do método levou a análise e hierarquização das paragens pelo seu grau de impacto em não permitir que o ativo cumpra a sua função esperada. Para resolver esta questão, será necessária uma avaliação mais detalhada uma vez que, uma única paragem pode conter várias causas raiz.

5.8 Cinco porquês

Muitas das falhas que ocorrem num ativo são de natureza simples e direta que permitem uma investigação mais imediata, simplesmente por uma ordenação encadeada que caracteriza a ocorrência. Para este tipo de análise foi utilizada uma metodologia denominada de cinco porquês. Esta foi a forma estruturada de investigação e registo onde se caracterizaram os MDF definindo a causa básica de cada paragem para posterior construção do diagrama de decisão e estabelecimento do plano de ação para solucionar as falhas.

A simplicidade da ferramenta também ofereceu grande flexibilidade, que combinou bem com outros métodos e técnicas utilizadas, como a FMEA. Isso significa que o processo de criação do diagrama de decisão foi baseado numa compreensão perspicaz do que está realmente a acontecer quando se analisou a causa raiz da falha de um ativo. Este facto considerou que o processo de análise da causa raiz deva sempre incluir pessoas com experiência prática para que se possa perceber ao máximo a origem de um MDF.

Depois de detetada a causa raiz, será necessário a tomada de ações. Todas as causas de falhas que foram identificadas poderão ser minimizadas ou eliminadas através da inclusão ou criação de tarefas, periódicas, do plano de manutenção, ou até mesmo, a substituição do componente ou ainda o redesenho do item/peça ou processo.

Dentro da proposição de ir além de reparação devem-se estabelecer medidas que permitam combater à reincidência da falha. Todos estes MDF foram desdobrados até que se chegasse à causa raiz das paragens conforme representado na Tabela 36.

Tabela 36 - Cinco porquês das causas dos MDF

MDF	PORQUÊ	PORQUÊ	PORQUÊ	PORQUÊ	PORQUÊ
<i>Infeed pusher, drying drum 1</i>	Maço mal formado	Falha na dobragem do maço	Rótulo enviesado	Falha no sistema de alimentação de rótulos	Falha nos empurradores Falha nos transportadores Falha na pega do Robô Arrastamento de cola Falha no transporte
		<i>Inner frame</i> enviesado	Matéria prima danificada	Sujidade	Falha no abastecimento de matéria prima Falha na colocação do carro de rótulos
		<i>Inner liner</i> amachucado	Falha na aplicação da cola	Falha nos injetores de cola	Regulagem da pressão de injeção de cola Falha nos empurradores
		Aplicação do <i>Inner frame</i>	Falha na entrega do <i>Inner frame</i>	Falha no corte Falha no transporte Falha nas lâminas	
<i>Cover, folding guide 1 packet guide, packet infeed, drying drum 2 packet guide, discharge</i>	Maço mal formado	Aplicação do <i>Inner liner</i>	Rótulo enviesado	Falha no corte da folha	Sujidade no sistema de vácuo Empurrador com corpo estranho preso
		Falha na dobragem do maço	Matéria prima danificada	Falha nos empurradores	Falha nos empurradores
		<i>Inner frame</i> enviesado	Falha na aplicação da cola	Falha no sistema de alimentação de rótulos	Falha nos transportadores Falha na pega do Robô Arrastamento de cola Falha no transporte
		Aplicação do <i>Inner frame</i>	Falha na entrega do <i>Inner frame</i>	Falha no abastecimento de matéria prima Regulagem da pressão de injeção de cola Falha nos empurradores	
					Falha no transporte

MDF	PORQUÊ	PORQUÊ	PORQUÊ	PORQUÊ	PORQUÊ
		<i>Inner liner</i> amachucado	Aplicação do <i>Inner liner</i>	Falha no corte da folha Falha nos empurradores	Lâminas de corte com desgaste Sujidade no sistema de vácuo Empurrador com corpo estranho preso
<i>S blank missing</i> <i>blank missing in</i> <i>turret</i>	Rótulo enviesado	Falha no sistema de alimentação de rótulos	Falha nos empurradores / elevadores Falha nos transportadores	Presença de obstáculos Presença de obstáculos	Rótulos soltos nos empurradores Rótulos soltos nos empurradores
		Falha na extração de rótulos	Falha na pega do Robô Falha nas ventosas Falha no sistema de vácuo	Falha no alinhamento dos garfos Desgaste das ventosas Baixa pressão de vácuo	Fadiga dos garfos Fadiga das ventosas Regulagem da pressão de vácuo
<i>Inner frame in</i> <i>bending station</i>	Falha na sinalização da fase correta	Pedaço do <i>Inner frame</i> a tapar a fotocélula	Tração a rasgar o <i>Inner</i> <i>frame</i>	Falha na tração dos rolos	Desgaste dos rolos

Fonte: Elaboração própria.

5.9 Diagrama de decisão

Através da constatação de que modos de falha diferentes possuem as mesmas causas, de acordo com a análise obtida a partir da análise dos cinco porquês, leva-se a conclusão de que as consequências da falha serão sanadas uma vez eliminadas as causas dos MDF. Outro ponto a ser levado em consideração é a hierarquização dos MDF a fim de garantir que está sendo dada maior importância para as paragens de maior relevância.

A fim de que estas ações se tornem eficazes os programas de manutenção corretiva e ação recomendada, funcionar até falhar, uma forma de minimizar os impactos, e até mesmo, eliminar a falha, seria a implantação de listas de verificações rotineiras, pelos operadores e técnicos, dos parâmetros de funcionamento do ativo e linhas de *setup* pré-definidos de acordo com o produto a ser produzido. Estas ações irão trazer uma acentuada melhoria no desempenho do ativo pois cada produto que é fabricado possui especificações inerentes. Fatores como densidade dos papéis, diferentes dimensões de algumas matérias-primas, tensionamento de correias e temperatura de colas além do formato influenciam diretamente o funcionamento do ativo. Para além das verificações pode-se sequenciar os pontos de inspeção para diminuir os tempos em que o ativo permanece parado.

Uma vez aplicado o programa da metodologia RCM, espera-se a melhoria de alguns aspetos, tais como:

Fiabilidade: A melhoria da fiabilidade surge como objetivo principal, através da constante reavaliação das políticas de manutenção e as informações resultantes dos programas de manutenção a serem implantados, que darão aos gestores de manutenção, supervisores e a toda equipa uma maior previsibilidade da incidência de novas avarias, além de se prever quando a falha irá acontecer.

Custos: Inicialmente os custos são elevados, devido à aquisição de equipamentos para monitorização das condições de funcionamento (monitorização). Entretanto, este aspeto será facilmente suportado pelo aumento significativo da produtividade.

Calendarização: A monitorização das condições de funcionamento dos equipamentos possibilita antecipadamente, organizar diversos aspetos importantes de planeamento. A aquisição de peças sobressalentes e a preparação das equipas para realizar as intervenções irão auxiliar na tomada de decisão do momento ideal para realizar a paragem do ativo.

Equipamento / Substituição de componentes: Uma grande vantagem da metodologia RCM é que os equipamentos / componentes têm um uso maximizado, a sua substituição é considerada conforme a condição de funcionamento (função) dos mesmos e não com base em calendarizações.

Eficiência / Produtividade: Segurança é a primeira preocupação desta metodologia, a segunda é o custo/eficácia (isto é, eficiência). A eficiência tem primeiramente como base a análise de criticidade, posteriormente avaliar-se-á o custo respetivo. A metodologia RCM é flexível e permite adequar e ajustar as políticas de manutenção quando necessário, pois a manutenção que não é eficiente é identificada. Para selecionar a melhor prática de manutenção, foi efetuado o digrama de decisão para as causas raiz de cada MDF de acordo com a Tabela 37.

Por fim, apesar de não ser o objetivo de análise deste trabalho, para se obter uma avaliação ao pormenor e maior ganho em valor acrescentado, podem-se também considerar os fatores humanos como possíveis causas dos MDF. Fatores como montagens incorretas, reaperto inadequado, falha na operação ou até mesmo, colocar um defeito onde não existe são possibilidades que nem sempre são consideradas ao se realizar estudos na gestão da manutenção. Estes fatores poderão ser minimizados através de um corpo técnico qualificado, não apenas na operacionalização do ativo mas também com conhecimentos básicos de mecânica, eletrónica e autómatos. Já nas capacitações pessoais podem ser consideradas a visão analítica, destreza manual, aptidão física e controlo emocional para que seja complementada a visão holística que se espera da gestão de ativos físicos industriais.

Tabela 37 – Diagrama de decisão

MDF	Causa raiz	Os efeitos da falha são evidentes para os operadores em condições normais de trabalho? (falhas ocultas)	Modo de falha progressiva (P) ou casual (C)?	A falha é sinalizada por meios automáticos? (antes da falha acontecer)	Política de manutenção recomendada	Ação recomendada
IPD1 CF IPD2 PGD PGP	Falha nos empurradores	SIM	C	NÃO	Manutenção Corretiva	Inspecionar empurradores
	Falha nos transportadores	NÃO	C	NÃO	Manutenção Preventiva Sistemática	Inspecionar transportadores
	Falha na pega do Robô	SIM	C	SIM	Manutenção Corretiva	Funcionar até falhar
	Arrastamento de cola	SIM	P	NÃO	Manutenção Corretiva	Funcionar até falhar
	Falha no transporte	SIM	C	NÃO	Manutenção Corretiva	Funcionar até falhar
	Falha na armazenagem	SIM	C	NÃO	Manutenção Corretiva	Funcionar até falhar
	Falha na colocação do carro de rótulos	SIM	C	NÃO	Manutenção Corretiva	Funcionar até falhar
	Regulagem da pressão de injeção de cola	NÃO	C	NÃO	Manutenção Preventiva Sistemática	Inspecionar injetores de cola
	Falha no corte	SIM	C	NÃO	Manutenção Corretiva	Funcionar até falhar
	Falha nas lâminas	NÃO	P	NÃO	Manutenção Preventiva Sistemática	Inspecionar estado das lâminas
SBM BM	Falha no sistema de vácuo	NÃO	P	NÃO	Manutenção Preventiva Sistemática	Testar sistema de vácuo
	Empurrador com corpo estranho preso	NÃO	C	NÃO	Manutenção Preventiva Sistemática	Inspecionar empurradores
	Rótulos soltos nos empurradores	NÃO	C	NÃO	Manutenção Preventiva Sistemática	Inspecionar empurradores
IFBS	Fadiga	NÃO	P	NÃO	Manutenção Preventiva Sistemática	Inspecionar componentes
	Desgaste dos rolos	NÃO	P	NÃO	Manutenção Preventiva Sistemática	Medir desgaste dos rolos

Fonte: Elaboração própria.

Capítulo 6 - Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões

A aplicação da metodologia RCM tem como objetivo melhorar a fiabilidade dos ativos físicos existentes numa organização. No contexto industrial a sua aplicação é uma alternativa viável para a gestão de ativos em termos económicos, segurança, previsibilidade e maior desempenho.

Este trabalho apresentou o processo de manutenção centrada na fiabilidade demonstrando as etapas que devem ser seguidas através da recolha, tratamento e discretização de dados de falhas, análise dos modos de falha e seus efeitos, hierarquização das avarias mais recorrentes e a definição das políticas de manutenção mais adequadas de acordo com o diagrama de decisão.

A metodologia recomendada é suficientemente genérica para que seja possível a sua implementação em diversos ativos físicos industriais. Para tal, é muito importante conhecer os modos de falhas dos ativos a serem analisados.

Com isso, pode-se dizer que existem ganhos a serem obtidos com a implementação da metodologia RCM como ferramenta de auxílio à gestão de manutenção e na tomada de decisão nos processos produtivos.

A fim de comprovar a eficácia da metodologia foi efetuado um caso de estudo numa multinacional fabricante de produtos de tabaco onde foram fornecidos os dados de falhas de um ativo que ainda estava em período de *ramp up*. Estes dados de falhas foram analisados para que se pudesse perceber com que frequência eles ocorriam.

Esta análise levou a conclusão de que os modos de falha mais frequentes não foram os que geraram maior tempo de paragem. Ou seja, de acordo com a característica do ativo existem MDF com diferentes tempos de resolução.

Para resolver esta questão, recorreu-se ao método AHP para estabelecer uma priorização dos MDF e a sua construção contou com o auxílio de operadores e técnicos experientes neste tipo de ativo.

Isto foi possível, a partir dos 4717 dados de paragens, chegar-se a oito ocorrências com maior grau de impacto no ativo. Para estes oito MDF'S foi gerado uma tabela de cinco porquês, o que levou à conclusão de que quatro modos de falha tinham as mesmas causas. Ou seja, transportadores, empurradores, lâminas de corte e aplicadores de cola possui uma direta interferência no desempenho do ativo. A utilização de atividades de manutenção planeada, bem como a inspeção rotineira e a garantia dos principais parâmetros de *setup*, trarão maior fiabilidade ao ativo.

Um dos grandes desafios deste trabalho foi a interpretação dos dados de falha disponíveis, uma vez que os resultados gerados pelo *software* utilizado pela empresa traziam dados genéricos do PLC, sendo necessária uma análise ao pormenor do manual do fabricante do ativo para se perceber cada MDF.

A criação de um modelo aplicável a todos os ativos semelhantes existentes na fábrica deverá passar por uma pré-análise dos modos de falha que são gerados para melhor enquadrar o estudo à tecnologia de fabrico existente.

6.2 Trabalhos futuros

Por se tratar de um tema ainda pouco explorado pelas empresas do seguimento industrial a implantação de um modelo da metodologia RCM requer a participação de profissionais habilitados nos conceitos de manutenção pois, o que se vê hoje nas empresas são profissionais sem habilitações técnicas a tratar do tema e a assumir cargos ao nível estratégico, o que dificulta a tomada de decisão que é requerida pelo tema.

Em trabalhos futuros, sugere-se que o analista utilize os resultados obtidos pelo *software* de manutenção analisando os dados e fazendo um comparativo com as práticas e políticas de manutenção adoptadas pela organização em questão.

Outro ponto de destaque seria aplicar questionários com as perguntas da FMEA para operadores, técnicos, engenheiros e supervisores em substituição da reunião de construção e validação da FMEA, por esta trazer demasiado desgaste o que pode interferir nos resultados.

Com estas precauções espera-se que em futuros trabalhos o resultado prático/teórico das respostas dos questionários conduza para o que é realmente importante na análise de falha dos ativos industriais.

Referências Bibliográficas

Albuquerque, Auro Neto Cateringer Starling. (2017), *Estudo Comparativo Sobre a Gestão de Ativos Físicos Aplicada em Empresas dos Setores de Mineração e Energia Nuclear com Base em Estudos De Caso.* Monografia, Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP.

Assis, R. (2014), *Apoio à decisão em manutenção na gestão de Ativos físicos – Segunda Edição,* Lidel - Edições Técnicas, ISBN 978-989-752-112-6, Lisboa

Bloom, N. (2006), *Reliability Centered Maintenance, Implementation Made Simple.* New York: McGraw-Hill.

BSI (2017), EN 13306. *European Committee for Standardization, CEN. The British Standards Institution CEN.*

BSI (2008), *Asset Management - Part 1: Specification for the optimized management of physical assets.* London: British Standards Institution.

BSI (2008b), *Asset Management. Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1.* British Standards Institution, London, ISBN: 978-0-580-50976-6.

BSI (2014), ISO 55001 *The new international standard for asset management - Transition guide.* London: British Standards Institution.

Correia, A. B., Deus, P., & Baptista, J. R. (2016), *Indústria 4.0.* Portugal: PWC.

Focke & Co. (2011), *Manual de Instruções Hinge Lid Packer modelo 701.* Focke & co.

Fogliatto, Flávio Sanson, e José Luís Duarte Ribeiro. (2011), *Confiabilidade e Manutenção Industrial.* Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier.

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

IAM. (2015), *Asset Management - an anatomy (Vol. 3).* Bristol, United Kingdom: The Institute Asset Management.

Kececioglu, Dimitri B. (2002), *Reliability Engineering Handbook*. Vol. 1. Lancaster, Pennsylvania U.S.A: Destech Publications, Inc.

Martins, J. C. (2015), *O papel da engenharia na gestão de ativos de uma unidade industrial* (Dissertação de Mestrado). Lisboa Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Moubray, John. (1998), *Reliability Centered Maintenance*. United Kingdom: Aladon Ltd.

Moura, C. (2000), *Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA) Manual de Referência SAE J-1739*. ASQC.

Pais, E., Farinha, J., & Raposo, H. (2019). *ISO 55001 – Gestão de Ativos 15.º Congresso Nacional de Manutenção*.

Pedro, F. M. (2014), *Avaliação da Implementação de Programa de Fiabilidade*. (Dissertação de Mestrado) Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Regan, Nancy. (2012), *The RCM Solution: A Practical Guide to Starting and Maintaining a Successful RCM Program*. New York: Library of Congress Cataloging-in-Publication.

ReliaSoft (2015), *Chapter 5: Life Data Classification, ReliaSoft's Life Data Analysis Reference*, http://reliawiki.org/index.php/Life_Distributions, acessado a 26 de outubro de 2020.

Ribeiro, J. P. (2019), *Aplicação da Metodologia RCM em Equipamentos de Tomografia Computorizada e da Especialidade de Imagiologia*. (Dissertação de Mestrado) Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

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

SAE - JA1011. (2009), *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*. Society of Automotive Engineers

Santos, F. F. (2008), *Análise de investimentos em AMT (Advanced Manufacturing Technology): Uso de um modelo multicriterial - AHP (Analytic Hierarchy Process)*. Universidade Federal de Minas Gerais.

Sardinha, G. P., Claro, F. A., & Pereira, R. L. (2009), *Uso combinado do AHP e do FMEA para análise de riscos em gerenciamento de projetos.* Seget – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, (pp. 1-13).

Silva, L. R. (2016), *Prevconfi: Confiabilidade Aplicada na Manutenção Preventiva de Usinas Eólicas com Foco em Minimização do Custo.* Natal, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Sinfonte, J. R., & Picknell, J. V. (2017), *Reliability Centered Maintenance - Reengineered.* Flórida, USA: Taylor & Francis Group.

Sjøholt, Natalie Bakke. (2018), *Reliability Centered Maintenance (RCM) of the Autonomous Passenger Ferry in Trondheim* (Master Thesis). Norwegian University of Science and Technology.

Smith R.; R. Keith R. K. (2008), *Rules of thumb for maintenance and reliability engineers.* Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008.

Smith, Anthony M., e Glenn R. Hinchcliffe. (2004), *RCM - Gateway to World Class Maintenance.* USA: Elsevier.

Sobral, J. (2019), *Ativos Físicos e Processos Industriais.* Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, Portugal.

Soldatos, John, Sérgio Gusmeroli, e Giovanni Di Orio. (2016), *Internet of Things Applications in Future Manufacturing.*