



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Colaboração no Departamento de Manutenção de uma Empresa de Pasta de Papel

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos
Mecânicos

Autor

João Ramos Neves Rascão

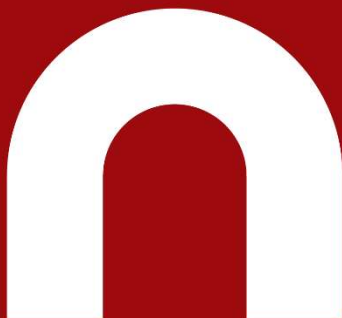
Orientador

Prof. Doutor Luís Filipe Pires Borrego

Supervisor na empresa Celbi S.A.

Eng.º Ricardo José Medina Pais Alves

Coimbra, dezembro de 2025



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

RESUMO

O presente documento apresenta as atividades desenvolvidas no âmbito da componente de Estágio do Mestrado em Engenharia Mecânica, no ramo da Área de Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos, no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Este estágio foi realizado na empresa Celulose Beira Industrial S.A. (Celbi S.A.), mais concretamente na Direção de Manutenção, no Setor de Fiabilidade e Gestão de Materiais, tendo como principal objetivo o apoio direto às atividades desenvolvidas pelo setor. Neste relatório são inicialmente abordados os principais conceitos teóricos utilizados no âmbito da manutenção industrial, destacando-se os benefícios que daí advêm, sempre numa perspetiva de melhoria contínua da eficiência operacional da empresa. Seguidamente, é apresentada a empresa de acolhimento, com uma descrição da sua história, dos diferentes processos de fabrico, da sua estrutura organizacional e da organização interna do departamento onde o estágio foi realizado. Após esta contextualização, o relatório detalha o enquadramento funcional da empresa, descrevendo a organização das instalações, incluindo a divisão das zonas da fábrica e o sistema interno de codificação das localizações. Em seguida, é abordado o procedimento de manutenção condicionada implementado, que está integrado no setor de Fiabilidade. São também detalhados o processo de planeamento da manutenção, as ferramentas de apoio utilizadas e a distinção entre equipamentos recuperáveis e rotáveis. De forma a finalizar o relatório, são descritas as atividades desenvolvidas ao longo do estágio, que incluíram o planeamento de planos de manutenção, a análise de gestão de *stock* ao armazém geral, o acompanhamento da implementação de uma nova tecnologia de monitorização de equipamentos rotativos, o apoio ao desenvolvimento de um processo de melhoria na fábrica, a criação e atualização de históricos de substituições e ocorrências tanto de equipamentos como de instalações. Por fim, foi realizada uma análise comparativa dos dados de certificação dos equipamentos de elevação de cargas.

Palavras-Chave: Manutenção Industrial, Fiabilidade, Manutenção Condicionada, Planeamento de Manutenção, Monitorização de Equipamentos Rotativos, Históricos de Substituições e Ocorrências

ABSTRACT

This document presents the activities carried out as part of the Internship component of the Master's Degree in Mechanical Engineering, within the Area of Specialization in Construction and Maintenance of Mechanical Equipment, at the Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. The internship was undertaken at Celulose Beira Industrial S.A. (Celbi S.A.), specifically in the Maintenance Department, within the Reliability and Materials Management Sector, with the main objective of providing direct support to the activities developed by the sector. This report initially addresses the main theoretical concepts used in the field of industrial maintenance, highlighting the benefits that result from it, always from a perspective of continuous improvement of the company's operational efficiency. Subsequently, the host company is presented, including a description of its history, manufacturing processes, organizational structure, and internal organization of the department where the internship took place. Following this contextualization, the report details the company's functional structure, describing the layout of the facilities, including the division of factory zones and the internal location coding system. Subsequently, the condition-based maintenance procedure implemented in the Reliability sector is described. The report also details the maintenance planning process, the support tools used, and the distinction between repairable and rotatable equipment. To conclude, the activities developed during the internship are described. These included the planning of maintenance plans, stock management analysis in the main warehouse, support for the implementation of a new monitoring technology for rotating equipment, assistance in the development of a process improvement initiative in the plant, and the creation and update of historical records of occurrences and replacements of both equipment and installations. Finally, a comparative analysis was conducted of the certification data for lifting equipment.

Keywords: Industrial Maintenance, Reliability, Condition-Based Maintenance, Maintenance Planning, Monitoring of Rotating Equipment, Records of Occurrences and Replacements

AGRADECIMENTOS

É com profundo reconhecimento que deixo aqui os meus agradecimentos a todos aqueles que, de diferentes formas, contribuíram para que esta etapa fosse concluída com sucesso.

Em primeiro lugar, aos meus pais, por todo o apoio, encorajamento e confiança ao longo deste percurso. O exemplo de perseverança e dedicação de ambos foi sempre uma inspiração e uma força constante, sem o qual este caminho teria sido muito mais difícil.

Ao meu orientador, Prof. Doutor Luís Borrego, pela orientação, pela disponibilidade e pelo rigor científico com que acompanhou este trabalho. A sua experiência e os seus conselhos foram decisivos para alcançar os resultados aqui apresentados.

Aos colaboradores da fábrica onde realizei o estágio curricular, pelo acolhimento e pelo ambiente sempre positivo que proporcionaram. A todos agradeço pela boa disposição. Quero destacar especialmente o Eng.º Ricardo Alves, cuja atenção, apoio técnico e orientação prática foram decisivos para o sucesso desta experiência.

Por fim, aos meus colegas de curso e também aos meus amigos que me acompanharam fora do contexto académico, agradeço pela motivação, pelas conversas animadas e pelo equilíbrio que souberam trazer a este percurso. A vossa amizade e companheirismo foram bastante importantes para ultrapassar este percurso.

ÍNDICE

Resumo	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos	iii
Índice.....	iv
Índice de figuras.....	vii
Índice de tabelas	ix
Lista de siglas e acrónimos	x
Lista de símbolos	xi
1 Introdução	1
1.1 Apresentação.....	1
1.2 Contextualização.....	1
1.3 Objetivos	2
1.4 Estrutura.....	3
2 Tópicos de manutenção	5
2.1 Manutenção.....	5
2.1.1 Classificação de manutenção.....	5
2.2 Fiabilidade	9
2.2.1 Conceito de fiabilidade	9
2.2.2 Intervalo P-F.....	10
2.2.3 Curva de banheira.....	13
2.2.4 Matriz de criticidade.....	15
2.3 Manutenção lean.....	16
2.3.1 Princípios fundamentais	17
2.3.2 Os sete desperdícios.....	18
2.3.3 Ferramentas lean.....	19
2.4 Manutenção produtiva total.....	24
2.4.1 <i>Overall equipment efficiency</i>	26
2.4.2 Indicadores de manutenção	27
2.5 Manutenção centrada na fiabilidade.....	29
2.5.1 Tipos de falha.....	30
2.5.2 Análise de causa raiz	32

2.5.3	Análise FME(C)A.....	33
2.5.4	Análise da árvore de falhas.....	35
2.6	Gestão de qualidade total	36
2.6.1	Diagrama de espinha de peixe	37
2.6.2	Diagrama de pareto	38
2.6.3	Matriz GUT	39
3	Empresa de acolhimento	41
3.1	Celbi S.A.	41
3.2	Missão, visão e valores	43
3.3	Processos de fabrico	44
3.3.1	Processo de produção de pasta.....	44
3.3.2	Processo de recuperação “ <i>kraft</i> ”	46
3.3.3	Produção de energia.....	47
3.3.4	Tratamento de águas residuais.....	48
3.3.5	Produto final	48
3.4	Organização da empresa.....	48
4	Enquadramento funcional da Celbi S.A.	52
4.1	Organização funcional das instalações.....	52
4.2	Manutenção condicionada.....	55
4.3	Planeamento de manutenção	57
4.3.1	Paragens programadas	58
4.3.2	Paragens anuais.....	58
4.3.3	Prioridades 1 e 2	59
4.3.4	Prioridades 3 e 4	60
4.4	Ferramentas de apoio à manutenção	60
4.5	Equipamentos recuperáveis e rotáveis.....	61
5	Atividades desenvolvidas durante o estágio	63
5.1	Planos de manutenção	63
5.2	Análise e gestão de <i>stock</i>	64
5.3	Sistema de monitorização.....	65
5.3.1	Sistema de medição <i>online</i> vs. <i>offline</i>	65
5.3.2	Sensores <i>online</i>	66
5.4	Processos de melhoria	71

5.4.1	Especificação do processo de estudo	71
5.4.2	Bombas de aparas (<i>chip pumps</i>)	72
5.4.3	Amplificação de movimento	73
5.4.4	Melhorias nas bombas de aparas	78
5.5	Históricos de substituições e ocorrências.....	80
5.5.1	Raspador de fundo do impregnador	81
5.5.2	Permutadores das unidades hidráulicas	82
5.5.3	Bombas de aparas.....	84
5.5.4	Retentores mecânicos	85
5.6	Ensaio de equipamentos de elevação de cargas	89
6	Conclusões.....	91
	Referências bibliográficas	92
	Anexos	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação do intervalo P-F [retirado de (Vita <i>et al.</i> , 2020)]	11
Figura 2.2 - Curva de banheira [retirado de (Viana <i>et al.</i> , 2017)].....	13
Figura 2.3 - Representação de cada fase da curva de banheira [retirado de (Nafea <i>et al.</i> , 2021)].....	14
Figura 2.4 - Ciclo "Plan-Do-Check-Act" [retirado de (Nguyen <i>et al.</i> , 2020)]	21
Figura 2.5 - Relatório 3C: (a) Caso e Causa; (b) Contramedida e Verificação	23
Figura 2.6 - Metodologia do TPM [retirado de (Patil <i>et al.</i> , 2018)].....	25
Figura 2.7 - Seis padrões de falha [retirado de (SAE JA1012 <i>et al.</i> , 2002)].....	31
Figura 2.8 - Simbologia e nomenclatura da árvore de falhas [retirado de (Sobral <i>et al.</i> , 2010)].....	36
Figura 2.9 - Árvore de falhas [retirado de (Sobral <i>et al.</i> , 2010)].....	36
Figura 2.10 - Representação do diagrama de espinha de peixe.....	38
Figura 2.11 - Representação do diagrama de pareto [retirado de <i>Diagrama de Pareto</i> (Forlogic, 2016)].....	39
Figura 3.1 - Vista aérea da fábrica Celbi	41
Figura 3.2 - Empresas constituintes do grupo Alri [retirado de <i>Empresas Do Grupo</i> (Celbi, 2025)].....	43
Figura 3.3 - Diagrama geral do processo de fabrico da fábrica (retirado do MOPS)	44
Figura 3.4 - Processo de produção de pasta.....	46
Figura 3.5 - Processo <i>kraft</i>	47
Figura 3.6 - Organigrama estrutural da empresa	49
Figura 3.7 - Divisão da direção de manutenção (DM).....	50
Figura 4.1 - Processo de fabrico na máquina da pasta.....	54
Figura 4.2 - Prensas da máquina da pasta.....	54
Figura 4.3 - Manutenção condicionada na empresa.....	55
Figura 4.4 - Ciclo de um equipamento recuperável [retirado de (Assis <i>et al.</i> , 2015)]	62
Figura 5.1 – Estudo da análise de <i>stock</i>	65
Figura 5.2 - Sistemas <i>online</i> vs. <i>offline</i> [retirado de (Schaeffler Group <i>et al.</i> 2023)]....	66
Figura 5.3 - Funcionamento dos três modos de operação [retirado de <i>OPTIME Ecosystem</i> (Schaeffler, 2025)]	67

Figura 5.4 - Representação dos dois tipos de sensores [retirado de <i>Vibration Analysis</i> (Reliance, 2025)].....	68
Figura 5.5 - Estrutura de funcionamento OPTIME [retirado de <i>OPTIME</i> (Schaeffler Singapore, 2021)]	69
Figura 5.6 - Bomba de circulação efeito 7 (452-070): 3 AW3.....	71
Figura 5.7 - Esquema de tremonha de aparas até ao impregnador (retirado do MOPS)	72
Figura 5.8 - Rotor da bomba de aparas (412-304).....	73
Figura 5.9 - Instalação das bombas de aparas	73
Figura 5.10 - Captura do movimento de uma bomba.....	74
Figura 5.11 - Equipamentos de amplificação de movimentos.....	75
Figura 5.12 - 1º passo do tratamento do vídeo.....	76
Figura 5.13 - 2º passo do tratamento de vídeo	76
Figura 5.14 - 3º passo do tratamento de vídeo	76
Figura 5.15 - 4º passo do tratamento de vídeo	77
Figura 5.16 - Gráfico <i>spectrum</i>	77
Figura 5.17 - Gráfico <i>waveform</i>	78
Figura 5.18 - Gráfico <i>orbit</i>	78
Figura 5.19 - Bomba 412-306: (a) Antes do reforço da base do motor; (b) Depois do reforço da base do moto.....	79
Figura 5.20 - Ordens de execução relacionadas ao raspador de fundo do impregnador.....	81
Figura 5.21 - Tabela referente às ordens de execução	82
Figura 5.22 - Permutadores de óleo da fábrica	83
Figura 5.23 - Análise dos permutadores	83
Figura 5.24 - Cálculo dos indicadores e representação gráfica	84
Figura 5.25 - Representação da substituição da bomba.....	85
Figura 5.26 - Histórico de substituições	85
Figura 5.27 - Tabela comparativa entre retentores mecânicos.....	86
Figura 5.28 - Cálculos comparativos	86
Figura 5.29 - Demonstração dos equipamentos	87
Figura 5.30 - Histórico de movimentos dos equipamentos	87
Figura 5.31 - Histórico de substituições dos dois retentores	88

Figura 5.32 - Gráfico do tempo de funcionamento dos retentores nos equipamentos 88

Figura 5.33 - Ficheiro de comparação dos números de série..... 90

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Análise de custos de manutenção no intervalo P-F..... 12

Tabela 2.2 - Pilares do TPM [adaptado de (Saxena *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2018)] 25

Tabela 2.3 - Categorias das seis grandes perdas da produtividade [adaptado de (Cheah *et al.*, 2020)]..... 27

Tabela 2.4 - Modelo da matriz GUT [adaptado de (Trucolo *et al.*, 2016)] 40

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

5W2H	<i>What, Who, Why, Where, When, How, How Much</i>
AICEP	Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal
API	Associação Portuguesa de Investimento
BEKP	<i>Bleached Eucalyptus Kraft Pulp</i>
Celbi	Celulose Beira Industrial
CUF	Companhia União Fabril
DL	Decreto-Lei
DM	Direção de Manutenção
EN	<i>European Norm</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
FMECA	<i>Failure Mode, Effects and Criticality Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
IBM	<i>International Business Machines Corporation</i>
ISEC	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
IT	<i>Information Technology</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
MDR	<i>Maintenance Driven Reliability</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTF	<i>Mean Time to Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
NP	Norma Portuguesa
ODR	<i>Operator Driven Reliability</i>
OE	Ordem de Execução
OEE	<i>Overall Equipment Efficiency</i>
PA	Paragem Anual
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
POM	Planos de Operações Metrológicas
PP	Paragem Programada
RCA	<i>Root Cause Analysis</i>
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
RT	Requisição de Trabalho
SFGM	Setor de Fiabilidade e Gestão de Materiais
SMEAS	Setor de Manutenção Elétrica, Automação e Sistemas
SMM	Setor de Manutenção Mecânica
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Total Productive System</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Alfabeto latino

rpm	Rotações Por Minuto
°C	Graus Celsius
<i>D</i>	Deteção
Hz	Hertz
<i>O</i>	Ocorrência
<i>S</i>	Severidade

Alfabeto grego

λ	Taxa de Falha
-----------	---------------

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será realizada uma breve apresentação e contextualização do estágio curricular, bem como dos objetivos inerentes ao mesmo. Por fim, é apresentada a estrutura do presente relatório, de forma a orientar o leitor ao longo dos diferentes capítulos.

1.1 Apresentação

Este relatório foi elaborado no âmbito curricular do 2º ano do Mestrado de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC) e tem como objetivo descrever as atividades desenvolvidas durante o estágio curricular realizado na empresa Celulose Beira Industrial S.A. (Celbi S.A.), pertencente ao Grupo Altri.

O estágio decorreu entre os dias 21 de outubro de 2024 e 4 de julho de 2025, tendo lugar nas instalações da Celbi, localizada na Figueira da Foz, especificamente na Direção de Manutenção (DM), mais concretamente no Setor de Fiabilidade e Gestão de Materiais (SFGM). Durante este período, foram cumpridas aproximadamente 40 horas semanais.

A supervisão académica do estágio foi assegurada pelo Professor Doutor Luís Filipe Pires Borrego, docente do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Por parte da empresa, o acompanhamento foi da responsabilidade do Engenheiro Ricardo Alves, Técnico Superior Júnior, que integra o Setor de Fiabilidade e Gestão de Materiais.

1.2 Contextualização

Ao longo dos últimos anos, o contexto empresarial tem-se tornado cada vez mais volátil e competitivo, exigindo das organizações níveis elevados de qualidade, flexibilidade e eficiência. A permanência sustentável no mercado implica uma aposta constante na fiabilidade dos métodos de trabalho e na minimização das ineficiências, sendo crucial manter processos estáveis e com o mínimo de falhas possível. Neste cenário, o recurso a indicadores e técnicas de manutenção de fiabilidade revela-se fundamental para assegurar o bom funcionamento dos equipamentos e, conseqüentemente o desempenho da organização como um todo.

Particularmente no setor da pasta e do papel, têm-se verificado transformações significativas à escala global, impulsionadas sobretudo pelo crescimento acelerado dos mercados asiático e latino-americano. No contexto europeu, este setor enfrenta atualmente uma crescente pressão competitiva, em grande parte devido ao

surgimento de novas indústrias e ao aumento dos custos associados à energia elétrica, gás, químicos, celulose, materiais de embalagem, entre outros. Estas alterações exigem que as empresas se adaptem rapidamente e adotem estratégias orientadas para a melhoria da performance ambiental, aumento da eficiência dos processos e, principalmente, redução dos custos operacionais, sem comprometer a qualidade final do produto e a satisfação do cliente (Sayuti *et al.*, 2019).

O presente documento tem por objetivo descrever a organização e gestão da manutenção na empresa Celbi S.A., sendo esta uma das empresas europeias que opera neste setor altamente competitivo, sendo produtora de pasta de papel de fibra curta. O processo produtivo nesta indústria caracteriza-se pela sua continuidade, onde idealmente apenas ocorrem paragens, sejam elas programadas e controladas ou anuais, com vista à manutenção dos equipamentos. Qualquer interrupção não planeada pode resultar em danos de grande impacto, quer a nível técnico quer económico, sobretudo se afetar os sistemas iniciais do processo, como o descasque e destroçamento, cujo mau funcionamento compromete a eficiência de toda a linha de produção. Deste modo, a capacidade de identificar com precisão dos problemas e as respetivas causas é essencial para garantir a fiabilidade do processo produtivo.

1.3 Objetivos

Na sequência da contextualização apresentada, o presente relatório tem como principal finalidade a identificação e análise de causas que estão na origem de determinados problemas no processo produtivo da fábrica. Através desta análise, pretende-se posteriormente propor e implementar medidas de melhoria que contribuam para o reforço da fiabilidade dos equipamentos.

O objetivo central do estágio consiste em dar um contributo efetivo para o aumento da fiabilidade e eficiência operacional da fábrica. Para tal, foram definidos vários objetivos, com foco nas seguintes atividades:

- Realização de históricos de substituições e ocorrências em equipamentos, com o intuito de identificar padrões de falha e tendência recorrentes;
- Implementação de processos de melhorias, de modo a melhorar as instalações em causa;
- Aplicação de uma metodologia *Kaizen*, procurando uma abordagem estruturada e participativa na resolução de problemas;
- Desenvolvimento e atualização de Planos de Manutenção, de forma a garantir uma intervenção atempada e eficaz nos equipamentos;
- Acompanhamento da implementação de novos sistemas de monitorização, com o objetivo de facilitar a deteção de anomalias e a tomada de decisões baseada em dados fiáveis.

Com estas ações, pretende-se não só responder a problemas concretos identificados no processo produtivo, mas também criar bases sustentáveis para uma gestão mais eficiente de manutenção e da fiabilidade a médio e longo prazo, contribuindo assim para a melhoria contínua da performance da fábrica.

1.4 Estrutura

O presente relatório de estágio encontra-se organizado em seis capítulos, que visam descrever de forma estruturada todo o trabalho desenvolvido durante o período de estágio curricular.

No primeiro capítulo, é feita uma breve exposição ao tema em estudo. Este capítulo inclui uma contextualização geral do trabalho realizado no contexto industrial, os objetivos definidos, a metodologia adotada ao longo do estágio, bem como a apresentação da estrutura do próprio relatório.

O segundo capítulo é dedicado ao enquadramento teórico das principais temáticas abordadas ao longo do estágio. Nele é abordado a classificação da Manutenção, o significado do conceito Fiabilidade, bem como as ferramentas associadas. São ainda explorados conceitos relacionados com a Manutenção *Lean*, destacando-se algumas das suas técnicas e ferramentas de aplicação, a filosofia da Manutenção Produtiva Total e os respetivos indicadores de desempenho, assim como a Gestão de Qualidade, onde se abordam diversas ferramentas associadas à metodologia aplicada.

De seguida, no terceiro capítulo apresenta-se a empresa no qual decorreu o estágio. É feita uma descrição histórica da Celbi S.A, bem como uma explicação detalhada dos seus processos produtivos. Estes abrangem a produção de pasta de papel, a produção de energia, o tratamento de água residuais e por fim o produto final. Neste capítulo é também descrita a estrutura organizacional da empresa e, de forma mais específica, a organização da Direção de Manutenção, no qual o estágio foi desenvolvido.

No capítulo seguinte, é descrito o enquadramento funcional da empresa. São abordados aspetos como a organização das instalações, a manutenção condicionada, o planeamento das atividades de manutenção, o conceito de paragem anual e paragem programada, os diferentes tipos de prioridade atribuídos às intervenções, as ferramentas de apoio à manutenção e, por fim, é explicado o conceito de equipamento recuperável e rotável.

O quinto capítulo apresenta detalhadamente as atividades desenvolvidas ao longo do estágio. São descritas tarefas como a elaboração de planos de manutenção e a análise de gestão de *stocks*. É também introduzido um novo sistema de monitorização *online* totalmente *wireless*, bem como a explicação do seu funcionamento e do processo de instalação. De seguida, é apresentado um dos diversos processos de melhoria que ocorram no período de estágio, mais propriamente o processo relacionado com as bombas de aparas, onde se dá uma pequena especificação do

processo em si, bem como a explicação do funcionamento destas bombas e ainda a aplicação de uma tecnologia de movimento e os procedimentos da mesma. Ainda neste capítulo, é desenvolvido o conceito do relatório 3C, abordado teoricamente no segundo capítulo, com ênfase na sua fase de construção. O capítulo termina com a apresentação dos históricos de substituições e ocorrências de equipamentos, tarefa que teve grande relevância ao longo do estágio, bem como com os certificados dos ensaios realizados aos equipamentos de elevação de cargas.

Por fim, no último capítulo, são apresentadas as conclusões do estágio, evidenciando os resultados alcançados, o impacto concreto na empresa e o desenvolvimento das competências técnicas e trabalho em equipa adquiridas ao longo do percurso.

2 TÓPICOS DE MANUTENÇÃO

No presente capítulo, serão apresentados os conceitos fundamentais para o desenvolvimento do estágio. Inicialmente, será apresentada a classificação de manutenção existentes, bem como o conceito de Fiabilidade, detalhando as ferramentas mais utilizada pela mesma, como o Intervalo P-F, a Curva de Banheira e Matriz de Criticidade. De seguida, será contextualizada a filosofia da *Lean Manufacturing*, abordando a sua origem, princípios, desperdícios em foco e algumas das ferramentas e técnicas de aplicação que, de alguma forma, serviram de base para os estudos efetuados, nomeadamente a Melhoria Contínua (*Kaizen*), o Ciclo PDCA, os 5S's e o Relatório 3C. Posteriormente será abordado o conceito de *Total Productive Maintenance* (TPM), incluindo os indicadores *Overall Equipment Efficiency* (OEE) e alguns Indicadores de Manutenção. Na sequência do conceito de Fiabilidade, será apresentada a *Reliability Centered Maintenance* (RCM), incluindo o conceito de Falha, *Root Cause Analysis* (RCA), Análise FME(C)A e Análise de Árvore de Falhas, todas as ferramentas para analisar as causas de falha. Relativamente ao *Total Quality Management* (TQM), será descrito três das sete ferramentas básicas da qualidade, o Diagrama de Ishikawa, o Diagrama de Pareto e a Matriz GUT, tendo sido todas utilizadas face aos problemas encontrados durante o estágio.

2.1 Manutenção

De acordo com a norma NP EN 13306:2010, a manutenção é definida como “a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida”.

A manutenção, com as suas diversas atividades, recursos, medições e gestões, tem-se demonstrado fundamental para as organizações de fabrico. Com a evolução nos últimos anos, a necessidade de gerir de forma mais eficiente as diferentes vertentes da manutenção tornou-se ainda mais relevante, especialmente devido à evolução das tecnologias operacionais e ao papel transformador da manutenção nas organizações. Durante a última metade do século XX, a manutenção evoluiu consideravelmente, deixando de ser vista apenas como uma tarefa inevitável na produção e passando a ser um elemento essencial para atingir os objetivos estratégicos de negócios das empresas, tornando-se, assim, um parceiro fundamental para o sucesso organizacional (Simões *et al.*, 2011).

2.1.1 Classificação de manutenção

Embora existam diferentes tipos de manutenção, a política de manutenção de uma organização não deve limitar-se a adotar apenas um desses tipos. Em vez disso, deve ser definida com base numa combinação adequada de todos os tipos de manutenção,

de forma a garantir um custo global mínimo. Quanto à sua estratégia e à forma como é implementada, pode ser classificada como Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva, Manutenção Preditiva, Manutenção Condicionada e Manutenção Proativa.

2.1.1.1 Manutenção corretiva

A Manutenção Corretiva é também conhecida como manutenção após avaria. Esta manutenção consiste na prática de deixar o equipamento funcionar até ocorrer uma avaria, ao contrário das práticas preventivas, que procuram evitar falhas antes que aconteçam. A filosofia por detrás da Manutenção Corretiva é “Deixar funcionar até partir”. Embora esta prática possa resultar em custos de manutenção elevados, como avarias secundárias, redução de tempo de produção, custos de armazenagem de peças de reserva e necessidade de horas extras de trabalho. Quando esta manutenção é implementada o controlo sobre o estado do equipamento deixa de existir. Portanto, os vários componentes de um equipamento podem avariar a qualquer momento, o que afeta tanto a produção quanto a segurança dos trabalhadores. Mesmo que um técnico consiga identificar uma avaria iminente, a intervenção necessária para corrigir o problema causa uma diminuição no tempo de produção, embora avarias secundárias possam ser evitadas.

Embora esta manutenção não seja a prática mais comum no dia a dia, ainda é possível adotar esta filosofia para alguns equipamentos não críticos com base em decisões econômicas. Todas as atividades de monitorização envolvem custos, especialmente em termos de tempo, e esses custos nem sempre são justificáveis para todos os equipamentos. Em alguns casos, pode ser mais vantajoso permitir que o equipamento funcione até a falha, já que o mesmo pode operar durante todo o período crítico de produção. Além disso, o custo da reparação pode exceder o risco de falha. Resumindo, esta manutenção torna-se uma questão de análise de riscos (Mobius Institute *et al.*, 2005).

2.1.1.2 Manutenção preventiva

A Manutenção Preventiva é conhecida por diversas denominações, como “manutenção planeada”, “manutenção programada”, “manutenção histórica”, entre outras. A filosofia desta manutenção consiste em “Reparar antes de partir”. Isto significa que, o tempo de vida útil de um equipamento é limitado e a probabilidade de avaria aumenta à medida que o equipamento envelhece, é então necessário realizar intervenções antes que ocorram avarias, evitando assim problemas e prolongando o tempo de vida útil do equipamento.

O principal desafio da Manutenção Preventiva é estimar o tempo de vida útil do equipamento e programar a sua revisão antes da ocorrência de uma avaria, de forma a equilibrar os custos com os riscos. Se o intervalo entre as revisões for muito longo, existe o risco de uma avaria, por outro lado, se o intervalo for muito curto, os custos da manutenção tornam-se elevados.

Para ajudar neste processo, pode-se criar um gráfico de probabilidade de avaria em função do tempo, denominado de Curva de Banheira. Este gráfico divide o ciclo de vida do equipamento em três fases, Mortalidade Infantil, Período de Vida Útil e Período de Desgaste. Além disso, a curva pode ser correlacionada com sinais típicos que os equipamentos exibem antes de uma avaria, como a alteração de valores de vibrações, temperatura, ruído, desempenho, presença de partículas metálicas no lubrificante, variações na corrente elétrica dos motores e outras alterações. Estes sinais funcionam como indicadores da proximidade de uma avaria, permitindo identificar as transições entre as fases e, assim, programar a Manutenção Preventiva de forma mais eficiente (Mobius Institute *et al.*, 2005).

2.1.1.3 Manutenção preditiva

A Manutenção Preditiva é uma estratégia de manutenção proativa com o objetivo de prevenir avarias e otimizar a operação dos equipamentos, seguindo a filosofia de “Intervir com base em dados, não em previsões”. Diferente da Manutenção Preventiva, que se baseia em intervalos de tempo pré-determinados, a Manutenção Preditiva utiliza dados recolhidos e algoritmos preditivos para estimar quando uma avaria pode ocorrer. Com base nessas previsões, as atividades de manutenção são programadas, agindo antes que a avaria aconteça, o que ajuda a reduzir custos e a melhorar a eficiência operacional.

Embora a manutenção seja frequentemente confundida com a manutenção baseada na condição, há uma diferença fundamental entre ambas. A Manutenção Preditiva programa as intervenções com base em dados recolhidos e fórmulas, enquanto a manutenção baseada na condição só realiza a manutenção quando os parâmetros monitorizados atingem níveis críticos. A Manutenção Preditiva tem ganhado cada vez mais destaque, especialmente desde que a abordagem de manutenção baseada na condição foi adotada. Nesta abordagem, a análise de falhas e a investigação das causas não se concentram no estado atual do equipamento, mas também procuram otimizá-lo por meio de ações corretivas. O objetivo é reduzir a probabilidade de falhas futuras a longo prazo. As medidas adotadas podem incluir a análise de históricos do equipamento, medições específicas para determinar frequências naturais ou relações de fase, além de melhorias na operação, como balanceamento e alinhamento preciso dos componentes.

Os principais objetivos da Manutenção Preditiva são, por um lado, realizar a manutenção somente quando necessário e, por outro, evitar que o processo de degradação do equipamento atinja um ponto irreversível. Assim, esta abordagem pode envolver diferentes métodos, como a análise de vibrações, a monitorização de imagens infravermelhas de equipamentos elétricos ou a análise da lubrificação de óleos.

As vantagens desta manutenção comparativamente à Manutenção Preventiva são significativas. A implementação desta estratégia pode reduzir ou até eliminar custo com horas extras, diminuir a necessidade de *stock* e peças de reserva, além de otimizar

a operação dos equipamentos, resultando em economia de energia e aumentando a fiabilidade dos equipamentos (Schaeffler Group *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2015).

2.1.1.4 Manutenção condicionada

A Manutenção Condicionada, também conhecida como “manutenção baseada na condição”, segue a filosofia de “Se não partiu, não se repara”. Esta abordagem baseia-se na ideia de que os equipamentos exibem sinais de alerta antes de uma avaria, seja a nível de alterações de vibrações, de temperaturas, de desgaste ou até mesmo de desempenho.

Ao monitorizar estes parâmetros e identificar os sinais de altera, é possível planear as ações de manutenção necessárias antes que o risco de avaria se torne mais alto. Com isto, maximiza-se o tempo de vida útil dos equipamentos e, simultaneamente, reduzem-se os custos de manutenção. Quando a avaria é prevista e tratada a tempo, evita-se a ocorrência de avarias não programadas, o que resulta numa redução significativa nos custos.

Na teoria, esta abordagem parece ser viável, pois pressupõe que todos os equipamentos sejam completamente monitorizados e que todas as avarias sigam um padrão previsível, permitindo a deteção antecipada e a intervenção antes que se tornem um problema grave. No entanto, a realidade é que monitorizar todos os equipamentos desta maneira é bastante complicado, e nem sempre as avarias podem ser detetadas com a antecedência necessária para uma ação eficaz.

Portanto, a Manutenção Condicionada consiste na monitorização de equipamentos com recurso a tecnologia apropriada, com uma frequência suficiente para detetar avarias antes que ocorram. Isto exige uma avaliação individual de cada equipamento e a adaptação do programa de monitorização conforme as necessidades específicas de cada um. É fundamental escolher as tecnologias de monitorização mais adequadas e definir a periodicidade da sua aplicação.

Há, no entanto, um aspeto importante a considerar na Manutenção Condicionada. Se a monitorização for feita e as ações de manutenção forem realizadas apenas quando necessário, não se está otimizando o tempo de vida do equipamento, mas apenas prevenindo avarias. A verdadeira otimização ocorre quando se consegue alterar a forma como os equipamentos são adquiridos, operados e mantidos, tornando-os mais fiáveis e com uma vida útil mais longa. Assim, é possível reduzir ainda mais os custos de manutenção ao longo do tempo (Mobius Institute *et al.*, 2005).

2.1.1.5 Manutenção proativa

A Manutenção Proativa, também conhecida como “manutenção de precisão” ou “manutenção baseada na fiabilidade”, tem como filosofia o conceito de “Reparar uma vez, reparar corretamente”. Quando é implementado um programa de Manutenção Condicionada, por exemplo, é possível receber um aviso sobre o defeito de um rolamento, permitindo que um novo seja encomendado e que a sua substituição seja planeada. Isto é muito útil, mas a verdadeira vantagem ocorre

quando, além de identificar o defeito, se consegue entender a causa raiz da avaria. Ao agir para eliminar essa causa, o equipamento pode funcionar por mais tempo após ser colocado novamente em operação.

O termo “proativo” é utilizado porque, ao contrário de esperar que a avaria ocorra, o objetivo é antecipar-se, diminuindo as hipóteses de que a ocorrência aconteça. Determinar a causa subjacente de uma avaria pode ser um processo complexo, que exige o estudo do histórico de monitorização do equipamento, além da realização de testes de aquisição do equipamento, examinar os lubrificantes utilizados e a forma de aplicação, e avaliar o processo de reparação do equipamento.

O principal objetivo da Manutenção Proativa é aumentar a fiabilidade do equipamento. Embora esta abordagem tenha muitas vantagens, existem vários desafios para a sua implementação. Um dos maiores obstáculos é a necessidade de uma mudança de mentalidade em todos os níveis da organização. Para que esta manutenção seja bem-sucedida, é fundamental que todos a compreendam e a adotem. Caso contrário, sempre que for necessário investir em formação, realizar investigações detalhadas, realizar alinhamentos e equilibragens de precisão ou adquirir componentes de melhora qualidade, poderá haver tentativas de redução de custos. Isto pode levar a um retrocesso, prejudicando os resultados esperados (Mobius Institute *et al.*, 2005).

2.2 Fiabilidade

2.2.1 Conceito de fiabilidade

O termo Fiabilidade refere-se à probabilidade de um produto ou sistema realizar as funções para as quais foi projetado, sob condições específicas de operação e durante um determinado período de tempo. Também é conhecida como a “probabilidade de sobrevivência”.

Quando se fala sobre análise de dados de fiabilidade, está-se a lidar com a probabilidade de falha ou a probabilidade de sobrevivência ao longo do tempo. A fiabilidade, portanto, depende do tempo. Por outras palavras, a probabilidade de falha de um sistema pode variar ao longo do tempo.

No caso de falhas relacionadas com a idade, como o desgaste de pneus, por exemplo, é razoável esperar que, logo após a compra, os pneus se encontrem em bom estado, não esperado que estes falhem rapidamente. Contudo, com o passar do tempo, a probabilidade de ocorrer um furo aumenta. Por outro lado, se ocorrer uma falha na instalação de um novo rolamento, a probabilidade de falha é maior assim que o equipamento seja colocado em funcionamento, devido ao que é conhecido como falhas por mortalidade infantil, onde as falhas iniciais ocorrem logo após a instalação, mas tendem a diminuir com o passar do tempo.

O objetivo da fiabilidade é tomar as medidas adequadas para garantir que o equipamento seja fiável e que desempenhe as funções requeridas quando necessário. Assim, existem quatro abordagens para melhorar a fiabilidade.

1. Abordagem prática: Baseia-se em práticas comprovadas e métodos testados, como lubrificação, alinhamento, equilibragem e monitorização de condições. Embora seja simples e eficaz em muitas situações, a principal desvantagem é que, sem dados concretos, torna-se difícil priorizar e justificar as tarefas de manutenção, o que pode resultar numa manutenção ineficiente;
2. Abordagem lógica priorizada: Utiliza dados estratégicos disponíveis, como RCM, FME(C)A e Matriz de Criticidade para priorizar equipamentos e identificar falhas críticas. A Análise de Pareto ajuda a focar nos equipamentos mais importantes e a garantir que as tarefas de manutenção agregam valor. No então, a implementação do RCM pode ser complexa e consumir muitos recursos. Contudo, quando realizada corretamente, é altamente eficaz;
3. Abordagem analítica, orientada por dados: Baseia-se na recolha e na análise detalhada de dados sobre o desempenho dos equipamentos, permitindo prever falhas e calcular a probabilidade de falha ao longo do tempo. Utiliza técnicas avançadas para estimar a vida útil dos equipamentos e prever falhas futuras. Embora exija dados de alta qualidade e possa ser complexa inicialmente, oferece grandes benefícios a longo prazo, como a redução de falhas imprevistas e tempo de inatividade;
4. Abordagem focada na melhoria do desempenho: Vai além da prevenção de falhas, procurando ativamente aumentar a produção, melhorar o OEE (Eficiência Global do Equipamento) e reduzir desperdícios e consumo de energia. Esta abordagem foca-se em resultados positivos e no contínuo aprimoramento da eficiência e do desempenho dos equipamentos (Mobius Institute *et al.*, 2021).

2.2.2 Intervalo P-F

O Intervalo P-F, é um conceito essencial na Engenharia de Fiabilidade, especialmente na Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM). De acordo com *Apelgren/Reliable Plant* (2021), o Intervalo P-F representa o período entre a identificação de uma falha potencial e a ocorrência da falha funcional. A falha potencial, conforme descrito por Teles (2018), refere-se a uma falha num estágio inicial que ainda não compromete totalmente o funcionamento do equipamento, mas reduz o seu rendimento ao longo do tempo.

A correta compreensão do Intervalo P-F é essencial para definir estratégias eficazes de monitorização. Caso a periodicidade de inspeção seja muito curta, resultará em custos excessivos, por outro lado, intervalos longos podem comprometer a deteção da falha em tempo útil, reduzindo a eficácia da monitorização. Segundo Moubray (2000), a interpretação e estimativa corretas do Intervalo P-F permitem identificar

as técnicas de manutenção adequadas e definir frequências apropriadas para inspeção. A implementação eficaz deste conceito garante que as ações de manutenção sejam realizadas no momento certo, evitando custos desnecessários e maximizando a fiabilidade operacional dos equipamentos (Josebeck & Gowtham *et al.*, 2022; Oliveira & Conti *et al.*, 2023).

A curva P-F traça a degradação de um equipamento, com base em parâmetros predeterminados, como vibração ou temperatura, da condição do equipamento (eixo Y) ao longo do tempo de operação ou ciclos ou idade do equipamento (eixo X), como se pode observar na Figura 2.1. Na curva P-F existem dois pontos principais, sendo eles os pontos "P" e "F", onde a designação para "P" é a falha potencial, isto significa que é o primeiro ponto onde se pode detetar que existe uma falha, embora essa mesma falha possa não acontecer, as condições em torno do equipamento indicarão que a falha está vinculada a acontecer se a condição persistir. Por outro lado, a designação "F" refere-se ao momento em que o equipamento atinge uma falha funcional, isto quer dizer quando existe realmente uma falha no equipamento, apesar de não ser necessariamente uma quebra completa. Isto é importante porque a falha funcional pode acontecer antes mesmo de se notar ruído ou fumo proveniente do equipamento (Josebeck & Gowtham *et al.*, 2022).

A principal característica da curva P-F é o Intervalo P-F, que é o tempo entre a falha potencial "P" e a falha funcional "F". O intervalo de inspeção deve ser menor do que o Intervalo de P-F para que se possa detetar uma falha depois que esta seja detetável, mas antes que esta realmente ocorra.

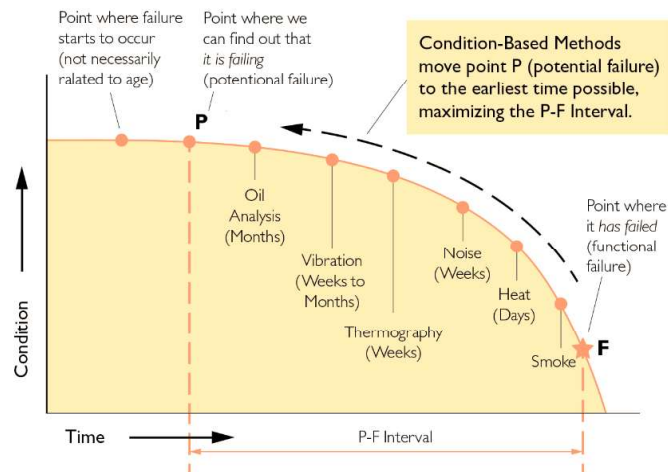


Figura 2.1 - Representação do intervalo P-F [retirado de (Vita *et al.*, 2020)]

A análise de custos no intervalo P-F permite otimizar estratégias de manutenção ao identificar o momento mais económico para intervir antes da falha funcional de um equipamento. Intervenções tardias (após o ponto F) resultam em custos elevados devido a falhas inesperadas e paragens não planeadas. Já intervenções muito precoces (logo após o ponto P) podem levar à substituição prematura de componentes, desperdiçando parte da sua vida útil. O cenário mais eficiente é

realizar a manutenção planeada próxima do ponto F, maximizando o uso do componente e minimizando riscos operacionais.

A Tabela 2.1 resume os principais cenários de intervenção ao longo do intervalo P-F, com as respetivas consequências e impactos financeiros.

Tabela 2.1 - Análise de custos de manutenção no intervalo P-F

Cenário	Ação	Consequência	Custo esperado
Após o falha funcional	Correção de emergência	Alta perda	Muito alto
Imediatamente após a falha potencial	Substituição precoce	Desperdícios de vida útil	Medio
Antes da falha funcional	Manutenção ideal	Prevenção com vida útil maximizada	Baixo

A partir do planeamento da manutenção, o objetivo é maximizar o Intervalo P-F de modo que seja concebido tempo suficiente para executar as ações corretivas necessárias para evitar falhas funcionais. Assim para prolongar o Intervalo P-F a estratégia deve ser incorporar num mecanismo que detete a falha potencial em tempo útil, onde a eficácia de detetar uma falha potencial de qualquer equipamento depende da natureza do programa de manutenção escolhido. O estado do equipamento é tipicamente um indicador de potencial falha que pode surgir. Ao medir e coletar com precisão os dados sobre os parâmetros da condição, a falha pode ser prevista com bastante antecedência, prolongando assim o Intervalo P-F.

Por isso, pode-se afirmar que dependendo do equipamento e dos seus modos de falha, existem várias técnicas que podem ser utilizadas para avaliar a condição de um equipamento e atrasar a falha.

1. Amostras e análise de lubrificantes;
2. Monitorização de corrosão;
3. Análise de corrente motora;
4. Deteção de emissões acústicas, ultrassons por exemplo;
5. Medição e a análise de vibrações;
6. Termográfica IR;
7. Tendência de parâmetros de processo, como fluxos, taxas, pressões, temperaturas, etc;
8. Instrumentação de controle de processo, através de medições e tendências;
9. Inspeção visual.

2.2.3 Curva de banheira

A Curva de Banheira, ou mais conhecida como *Bathtub Curve*, é um conceito amplamente utilizado na engenharia para monitorizar a performance de equipamentos ao longo do tempo, analisando as taxas de falhas em diferentes fases da sua vida útil. Assim a Curva de Banheira é composta por três fases distintas: a Mortalidade Infantil, o Período da Vida Útil e o Período de Desgaste, ilustrado na Figura 2.2. De acordo com Eberling, em 1997, as taxas de falhas da Curva de Banheira podem ser vistas como um composto de várias distribuições de falhas, e forma-a como “uma função de taxas de falha lineares e constantes por partes”. No entanto, Cater, em 1986, argumenta que esse modelo tradicional é mais aplicável a componentes complexos que recebem manutenção regular, onde falhas aleatórias podem ser descritas por uma taxa constante. Para componentes simples e não mantidos, por outro lado, a taxa de falha pode não seguir esse padrão. Por isso, é necessário fazer uma revisão crítica às três fases da curva, levando em consideração estas diferenças perspectivas e as suas implicações no desempenho e na análise da fiabilidade (Cheng *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2015).



Figura 2.2 - Curva de banheira [retirado de (Viana *et al.*, 2017)]

Atualmente, muitas empresas encaram as políticas de manutenção como ações reativas, ou seja, somente quando ocorre uma falha nos equipamentos. No entanto, essas práticas deveriam ser proativas, com o objetivo de evitar falhas ou reparar a degradação normal dos componentes ao longo do tempo (Silva *et al.*, 2015).

Como já mencionado, a Curva de Banheira divide-se em três fases, representando a taxa de falha em função do tempo, Figura 2.3. Assim, a primeira fase denomina-se por Mortalidade Infantil, que é o início da sua vida onde inicialmente existem falhas prematuras, ou seja, alta taxa de falhas, que normalmente estão associadas a falhas de instalação e a falhas de projeto, há medida que estas falhas vão sendo corrigidas a taxa de falha diminui. Esta fase é seguida por uma taxa de falha constante e é conhecida como o Período de Vida Útil, que representa grande parte da vida do equipamento, esta fase caracteriza-se por apresentar uma estabilidade da curva do gráfico onde as falhas iniciais abrutadas deixam de ocorrer e o equipamento entra num período de estabilidade, onde a taxa de falha é a mais baixa durante toda a sua vida e os tipos de falhas que normalmente surgem são problemas do tipo mecânico,

dimensionamentos incorretos, sobrecargas, etc. Por fim, o equipamento entra na terceira e última fase, correspondendo à fase designada por Período de Desgaste ou Fadiga, onde caracteriza-se por este se encontrar no fim da sua vida útil e por existir um rápido aumento da taxa de falha, nesta fase a principal característica encontrada é o desgaste das componentes, assim a Manutenção Preventiva é o tipo de manutenção mais adequada para este caso, pois havendo informação de que o equipamento irá falhar, terá de se programar a substituição do equipamento ou dos componentes (Cheng *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2015).

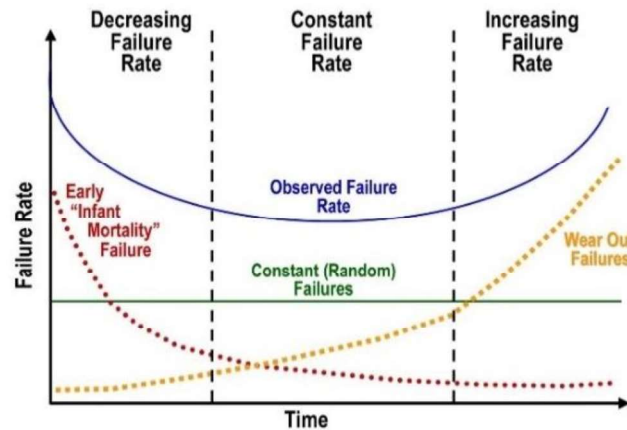


Figura 2.3 - Representação de cada fase da curva de banheira [retirado de (Nafea *et al.*, 2021)]

Ebeling, em 1997, sugere quatro métodos para reduzir a taxa de falhas durante o período de Mortalidade Infantil, sendo eles os testes de *burn-in* ou depuração, procura pelo stress ambiental, controlo de qualidade e teste de aceitação. Além de Ebeling, Juran em 1988, acrescenta os testes acelerados como uma forma de identificar e eliminar falhas iniciais.

1. Os testes de *burn-in* ou depuração são testes que submetem o equipamento a condições normais de funcionamento, observando o seu comportamento e capacidade para obter os resultados desejados, onde o principal objetivo é detetar falhas e corrigi-las quando possível, de modo que os equipamentos com defeito sejam reparados ou então descartados, reduzindo assim as falhas iniciais e melhorando a fiabilidade do equipamento;
2. Ebeling e Juran consideram que a procura pelo stress ambiental deve ser utilizada para eliminar as falhas precoces devidas a peças frágeis e defeitos de fabrico. Juran ainda os define como testes realizados em nível inferior do produto, como também sugere combiná-lo com testes de vida para identificar pontos fracos em novos projetos;
3. O controlo de qualidade procura identificar e controlar qualquer tipo de variação no comportamento normal do equipamento, registando assim possíveis falhas e corrigindo-as. Um dos testes que se pode realizar no controlo de qualidade é a análise de vibração;

4. Os testes de aceitação avaliam periodicamente a fiabilidade do equipamento, especialmente quando o design, as ferramentas, os processos, as peças ou outras características apresentam algumas alterações;
5. Os testes acelerados são testes que irão sobrecarregar os equipamentos, permitindo assim como as falhas aconteçam mais cedo, encurtando a vida do equipamento. Embora existam riscos induzidos em erro de acelerar os ensaios, os benefícios dos ensaios podem ser substanciais. Assim, Juran sugeriu que o envolvimento do julgamento de engenharia em tais testes é crucial (Cheng *et al.*, 2005).

Assim, é essencial compreender as diferentes fases e abordagens relacionadas à manutenção e fiabilidade, pois desempenham um papel crucial na melhoria contínua e na eficiência dos processos. Uma abordagem proativa, aliada a métodos adequados de monitorização e manutenção, pode contribuir significativamente para a redução de falhas e a maximização da eficiência dos sistemas.

2.2.4 Matriz de criticidade

A Matriz de Criticidade é uma técnica que identifica e classifica os possíveis efeitos e eventos com base no impacto que eles têm sobre o processo. Esta metodologia é habitualmente aplicada em estudos de risco e fiabilidade, tanto em projetos quanto em plantas em operação, sendo fundamental em sistemas relacionados à segurança e ao meio ambiente. A Matriz de Criticidade pode ser realizada de forma quantitativa ou qualitativa, dependendo do contexto (Baran *et al.*, 2013).

Em 1999, Moss e Wodhouse definiram a criticidade como o atributo que expressa a importância da função de um equipamento ou sistema, levando em conta aspetos como a segurança, a qualidade, o meio ambiente e outros critérios específicos. Aven, em 2009, complementa, destacando que a criticidade reflete o papel fundamental de um equipamento no contexto operacional, onde a sua falha ou baixo desempenho pode resultar em consequências graves, como acidentes, danos ambientais e impactos económicos, sendo diretamente proporcional ao impacto do equipamento no processo (Baran *et al.*, 2013).

A metodologia da Matriz de Criticidade tem como objetivo priorizar os equipamentos dentro de um contexto industrial, especialmente em organizações de manutenção que lidam diariamente com grandes volumes de dados sobre equipamentos complexos. Esta análise é importante para ajustar as estratégias de manutenção às necessidades dinâmicas do negócio ao longo do tempo. A maior parte das técnicas quantitativas atuais para a Matriz de Criticidade utiliza uma pontuação ponderada, baseada em variações do método do Número de Prioridade de Risco (RPN).

Neste caso, a metodologia proposta avalia a criticidade dos equipamentos em si, invés de avaliar a criticidade dos modos de falha, como na FME(C)A. A análise exige um alto nível de detalhamento na estrutura funcional da rede, levando em

consideração o grande número de equipamentos envolvidos. A metodologia deve ser aplicada de forma que os resultados estejam alinhados com as prioridades da empresa, procurando a otimização das estratégias de manutenção. Assim a Matriz de Criticidade envolve as seguintes etapas, garantindo que as decisões de manutenção estejam em sintonia com as necessidades e prioridades da organização (Crespo *et al.*, 2018).

1. Determinar os níveis de frequência e fatores de frequência;
2. Definir critérios e níveis de efeito para avaliar a gravidade da perda funcional;
3. Identificar os efeitos de perdas funcionais inaceitáveis;
4. Estabelecer ponderações para os critérios de gravidade;
5. Definir escalas de gravidade por efeito de critério;
6. Determinar os limites de criticidade.

2.3 Manutenção lean

Este século é caracterizado por um crescimento superficial em diversas áreas da vida pública, como na educação, na saúde, nas indústrias e em outros serviços. Este desenvolvimento foi acompanhado pela adoção de várias práticas da filosofia *Lean*, que desempenharam um papel importante no aumento de produtividade e na melhoria do desempenho tanto nos setores industriais quanto nos de serviços. Contudo, o interesse pela qualidade dos processos surgiu anteriormente, ganhando força de forma notável no início da década de 1980, quando a indústria automóvel japonesa, mas concretamente a *Toyota Motor Company*, que mesmo enfrentando uma crise financeira demonstrou conseguir um nível elevado de eficiência e desenvolvimento nos seus processos (Ali Azawqari *et al.*, 2020; Yadav *et al.*, 2010).

Após a Segunda Guerra Mundial, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo visitaram as fábricas da Ford e, ao observar o seu funcionamento, implementaram alguns elementos do sistema Ford na Toyota, o que a tornou uma força competitiva no mercado automóvel. Assim desenvolveram um sistema mais tarde denominado de Sistema Toyota de Produção, traduzido de *Toyota Production System* (TPS), com a finalidade de eliminar desperdícios no processo produtivo, uma vez que estes incluem atividades que não agregam valor ao cliente final. O TPS é amplamente reconhecido como uma das principais razões para o sucesso competitivo do Japão e este sistema, que inicialmente foi criado e adotado pelos fabricantes japoneses, rapidamente se expandiu para o resto do mundo (Yadav *et al.*, 2010; Čiarnienė & Vienažindienė *et al.*, 2012; Bhamu & Sangwan *et al.*, 2014).

O sistema TPS, conforme descrito por Ohno, é sustentado por dois pilares fundamentais, o *Just In Time* (JIT) e a *Jidoka* (Autonomação). O primeiro pilar, o JIT, assenta em garantir a entrega exata da quantidade necessária, no momento e local mais adequado para o cliente, sendo também conhecido pela abordagem “*pull*”. Esta técnica é definida pela procura da qualidade, envolvimento das pessoas e a utilização de ferramentas para evitar qualquer tipo de desperdício no processo de produção

(Anoop & Muhammed *et al.*, 2020). O segundo pilar, a *Jidoka*, baseia-se no termo “*automation with human touch*”, o que significa que os colaboradores são responsáveis por tarefas específicas, enquanto a automação é utilizada para identificar e corrigir defeitos na produção, garantindo um processo livre de erros (Vyas *et al.*, 2011).

Portanto, a *Lean Manufacturing* (LM) é uma metodologia de trabalho que consiste em melhorar os sistemas de produção através da aplicação de uma série de princípios e ferramentas que são reconhecidas. O foco principal dessa melhoria é identificar e eliminar todos os tipos de desperdício, definidos como ações que aumentam o custo de um produto ou serviço sem agregar valor, e que o cliente não está disposto a pagar. Isto normalmente ocorre quando mais recursos são utilizados num processo do que o necessário, como quando há longos períodos de espera para que um produto chegue ao cliente (Rivera *et al.*, 2020).

2.3.1 Princípios fundamentais

Para compreender e aplicar corretamente a metodologia *Lean*, é essencial conhecer os seus cinco princípios fundamentais:

1. Identificar o valor: Determinar o valor do produto, do ponto de vista do consumidor, tendo em consideração as suas especificações, qualidades e capacidades entregues no momento exato necessário;
2. Identificar o fluxo do valor: Identificar todos os processos envolvidos no fluxo do valor para cada tipo de produto, eliminando desperdícios, sempre que possível;
3. Criar fluxos: Organizar processos que apresentem valor ao produto, garantindo que o produto siga facilmente em direção ao consumidor;
4. Estabelecer *pull*: Com o fluxo definido permitir que o consumidor “puxe” o produto, ou seja, apenas produzir o que é pedido, na altura exata em que é pedido;
5. Melhoria Contínua: Reduzir ou eliminar desperdícios progressivamente até alcançar a perfeição ideal (Ali Azawqari *et al.*, 2020; Čiarnienė & Vienažindienė *et al.*, 2012; Womack & Jones *et al.*, 1997).

Para além dos cinco princípios fundamentais da *Lean Manufacturing*, Gupta e Jain, em 2013, propõem ainda quatro etapas essenciais para uma correta implementação desta filosofia. A primeira etapa consiste na identificação dos desperdícios existentes no processo. Em seguida, é necessário categorizar esses desperdícios e compreender a sua natureza. Na terceira fase, recorre-se aos conceitos básicos da *Lean Manufacturing* para identificar a causa raiz dos problemas detetados. Por fim, na última etapa, idealizam-se e testam-se soluções que visem corrigir as não conformidades encontradas.

Contudo, para além do conhecimento dos princípios fundamentais e das etapas de implementação, é igualmente essencial conhecer os desperdícios definidos pela

metodologia *Lean*, uma vez que esse reconhecimento é indispensável para que a sua aplicação seja bem-sucedida.

2.3.2 Os sete desperdícios

Womack e Jones relatam que Taiichi Ohno, em 1988, criou um método que introduziu três categorias de desperdícios tipicamente encontrados no mundo industrial, designado por 3M's: “*Muri*”, que significa sobrecarga, ou seja, o stress a que um trabalhador ou equipamento está sujeito; “*Mura*”, que significa diferenças, ou seja, variações indesejadas no processo que geram dificuldades ou irregularidades; e “*Muda*”, que significa desperdício, em todas as suas formas, seja desperdícios de tempo, material ou dinheiro (Hashim & Alsalman *et al.*, 2022; Hicks *et al.*, 2007).

Destes três tipos de resíduos sugeridos por Ohno, o conceito de “*Muda*” foi categorizado em sete tipos de desperdícios. De referir que, mais tarde, foi introduzido um oitavo desperdício. Segue-se, a identificação e uma breve descrição dos diferentes tipos de desperdícios (Hicks *et al.*, 2007; Rivera *et al.*, 2020).

1. Excesso de produção: Ocorre quando existe uma sobreprodução. Este desperdício representa um valor alto de perda de tempo na produção que não é necessário, levando a um consumo desnecessário de material e, eventualmente a um aumento do *stock*. Ohno considera que este desperdício é o mais crucial, pois é a raiz da maioria dos problemas;
2. Tempo de espera: Ocorre quando o tempo não é utilizado de forma eficaz, resultando em inatividade. Este desperdício surge devido a atrasos ou interrupções num processo, como falhas de materiais ou problemas de equipamentos. O tempo de espera afeta diretamente o fluxo de produção e é provavelmente o segundo desperdício mais importante;
3. Movimento: Refere-se a qualquer atividade realizada por funcionários ou equipamentos que não acrescente valor ao produto ou serviço;
4. Transporte: Movimento ou deslocação desnecessário de materiais entre operações. Além de consumir tempo e recursos, pode resultar em danos aos produtos e atrasos na produção. A minimização do transporte é essencial para melhorar a eficiência, reduzir custo e evitar desperdícios no processo de fabrico;
5. Sobreprocessamento: Refere-se a operações extra, como retrabalho, reprocessamento ou armazenamento que ocorrem devido a defeitos, sobreprodução ou excesso de *stock*;
6. Inventário: Corresponde ao armazenamento de matérias-primas, de produtos em processo e produtos acabados. O inventário requer transporte e espaço adicional e pode aumentar significativamente o sobreprocessamento e o transporte desnecessário;

7. Defeitos: Refere-se a produtos que não atendem às especificações ou expectativas do consumidor, resultando em retrabalho, sucata ou reparação, o que representa uma perda de produtividade (Wahab *et al.*, 2013; Rivera *et al.*, 2020; Womack & Jones *et al.*, 1997; Hicks *et al.*, 2007).

Para além destes sete desperdícios, Womack e Jones em 1997, identificaram ainda uma nova categoria, ou oitavo desperdício, como referido anteriormente, correspondente ao desperdício da capacidade das pessoas, isto é, da criatividade dos trabalhadores.

8. Capacidade das pessoas: Refere-se ao envolvimento de mais trabalhadores a uma tarefa do que o necessário, sem contribuir para a melhoria do processo ou das práticas (Wahab *et al.*, 2013).

2.3.3 Ferramentas lean

Para que as empresas integrem a metodologia *Lean* na sua cultura, existe uma ampla gama de técnicas e ferramentas a adotar, tendo como principal objetivo reduzir os desperdícios e as atividades de valor não acrescentando. Embora estas técnicas sejam mais eficazes quando aplicadas em conjunto, muitas delas também podem ser utilizadas individualmente para resolver problemas específicos dentro de uma empresa, dependendo das necessidades específicas. As técnicas *Lean* podem ser implementadas em diversas áreas da indústria, desde a produção até a administração, e são especialmente vantajosas quando adaptadas aos problemas ou desafios específicos encontrados (Ali Azawqari *et al.*, 2020).

De seguida, serão apresentadas algumas das ferramentas ou técnicas utilizadas no âmbito da fiabilidade, nomeadamente o *Kaizen*, o Ciclo PDCA, os 5S e por último, o Relatório 3C. Estas ferramentas, de alguma forma, umas mais do que outras, estiveram presentes ao longo do estágio.

2.3.3.1 Kaizen

A metodologia *Kaizen* é uma das ferramentas de controlo de qualidade mais conhecidas no mundo que visa a melhoria contínua dos processos. Este termo nasceu no Japão, em 1950 e o seu significado vem de “*Kai*” que significa mudança e “*Zen*” que significa melhor e fazendo a junção dos dois termos “*Kaizen*” significa mudar continuamente para melhor (Gupta & Jain *et al.*, 2013). A expressão melhoria contínua está relacionada a diversos desenvolvimentos organizacionais, como a implementação de técnicas de *Lean Manufacturing*, programas de envolvimento dos funcionários, Gestão de Qualidade Total (TQM), iniciativas de melhorias no atendimento ao cliente e campanhas de redução de desperdícios (Gupta & Jain *et al.*, 2013; Singh & Singh *et al.*, 2015).

A abordagem *Kaizen* tem sido utilizada para resolver problemas de forma gradual, por meio da recolha de dados, da análise de causas raiz, da identificação e seleção da melhor solução entre várias opções, e implementação com a devida documentação.

Os benefícios observados após a aplicação do *Kaizen* incluem a eliminação de desperdícios como problemas de qualidade, rejeições, e retrabalho de produtos, além de uma significativa redução de custos (Gupta & Jain *et al.*, 2013).

A melhoria orientada para o cliente é um aspeto fundamental do *Kaizen*, já que todos os esforços são direcionados para aprimorar o desempenho dos produtos e processos. O *Kaizen* é uma filosofia de gestão integrada que busca a melhoria constante de qualidade de produtos, serviços e processos, com o objetivo de garantir a satisfação do cliente (Singh & Singh *et al.*, 2015).

O *Kaizen* enfatiza melhorias pequenas, subtis, de baixo custo e baixo risco, que asseguram um progresso incremental e uma transformação sustentável a longo prazo. Este é voltado para os trabalhadores diários e para a gestão de nível inferior, com o objetivo de melhorar constantemente os seus próprios ambientes de trabalho (Jacobson *et al.*, 2009).

No ambiente industrial, as melhorias podem ser alcançadas de diversas formas, por exemplo através da otimização de *stocks*. Contudo, o princípio central desta metodologia, está focado na identificação e eliminação de desperdícios, conhecidos como “*Muda*”, que podem ocorrer em qualquer área, seja na mão de obra, nos equipamentos ou no processo (Ali Azawqari *et al.*, 2020).

Embora o *Lean Manufacturing* e *Kaizen* compartilhem princípios semelhantes, estes não representam o mesmo conceito. Aliás, alguns autores argumentam que o *Lean* pode ser visto como um subproduto da filosofia do *Kaizen*. Embora ambas as abordagens se beneficiem ao serem aplicadas em conjunto, há quem defenda que o *Kaizen* é um pilar essencial do *Lean*, funcionando como uma ferramenta crucial para a sua implementação (Rivera *et al.*, 2020).

2.3.3.2 Ciclo PDCA

De acordo com Imai (1997), (citado em (Singh & Singh *et al.*, 2015)), o Ciclo PDCA é uma abordagem orientada para o processo, e é amplamente utilizado para a melhoria contínua em processos operativos. Por isso este método, tornou-se um dos métodos mais reconhecidos mundialmente, foi desenvolvido por William Edwards Deming no ano de 1950. No contexto de *Lean Manufacturing* este configura-se como uma ferramenta essencial para orientar e impulsionar a melhoria dos processos. Assim, o Ciclo PDCA consiste em quatro fases, (Figura 2.4): “*Plan*” (Planear), “*Do*” (Fazer), “*Check*” (Verificar) e “*Act*” (Agir) (Nguyen *et al.*, 2020; Singh & Singh *et al.*, 2015).

A etapa “*Plan*” (Planear) inclui a análise e avaliação da situação inicial determinando, ao mesmo tempo os objetivos a alcançar. Após a identificação de todas as causas e raízes possíveis do problema, as oportunidades de melhoria são reconhecidas e priorizadas com base no impacto potencial.

Na etapa “*Do*” (Fazer), as mudanças são implementadas, geralmente numa escolha reduzida, de modo a obter os resultados do estudo e da análise. Para cada mudança,

a ideia é testada, e cada passo deve ser documentado para apoiar a fase seguinte, permitindo comparar o antes e o depois, em termos de eficácia.

A etapa “*Check*” (Verificar) consiste em analisar os resultados da fase anterior, determinando se os objetivos principais foram alcançados e estabelecendo metas para verificar se as soluções produzem os resultados esperados.

Finalmente, na etapa “*Act*” (Agir), se as novas medidas conduzem a melhorias, estas devem ser adotadas e aplicadas em maior escala. Caso os objetivos não sejam alcançados, é necessário determinar a razão e agir em conformidade (Chen & Li *et al.*, 2019; Nguyen *et al.*, 2020; Singh & Singh *et al.*, 2015).

Os passos que usualmente são utilizados para a implementação da metodologia PDCA são:

1. Identificação e descrição do problema;
2. Compreensão do problema;
3. Objetivo a concretizar (*Plan*);
4. Identificação das causas;
5. Tarefas a realizar (*Do*);
6. Caracterização dos resultados (*Check*);
7. Padronização e treino dos membros das equipas para a nova metodologia (*Act*);
8. Reconhecimento e partilha do sucesso.

O Ciclo PDCA depende fortemente da melhoria contínua, uma vez que é visualmente representado como um “círculo” de melhorias sem fim determinado. Podem ser utilizadas várias ferramentas de qualidade como suporte para um ciclo eficaz, tais como o 5S, o Diagrama de Espinha de Peixe, o Diagrama de Pareto, entre outros. Este ciclo centra-se principalmente na prevenção de erros e na normalização de processos e, até que os objetivos sejam alcançados, o ciclo PDCA não tem fim (Nguyen *et al.*, 2020; Singh & Singh *et al.*, 2015).

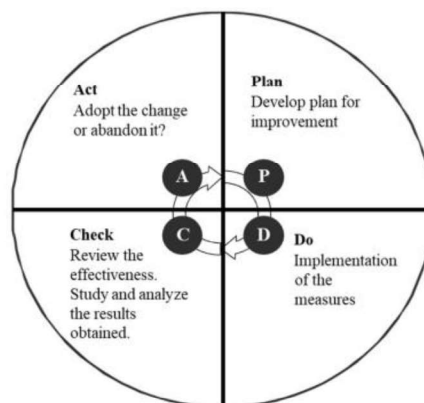


Figura 2.4 - Ciclo "Plan-Do-Check-Act" [retirado de (Nguyen *et al.*, 2020)]

2.3.3.3 5S

A ferramenta 5S faz parte das ferramentas operativas e é uma metodologia fundamental para a organização do espaço de trabalho, sendo uma das mais eficazes na criação de um ambiente mais eficiente e, conseqüentemente, a base para uma empresa *Lean* eficaz. Os 5S's focam-se na melhoria das condições dos postos de trabalho e no desenvolvimento de bons hábitos dos trabalhadores. A filosofia baseia-se na ideia de que, se as ferramentas e equipamentos necessários para realizar uma atividade estiverem sempre classificados, organizados, limpos e prontos a usar, a empresa alcançará benefícios operacionais e produtivos (García-Alcaraz *et al.*, 2021; Gupta & Jain *et al.*, 2013).

O 5S é uma ferramenta para classificar, organizar, limpar, padronizar e sustentar um ambiente de trabalho produtivo. O aumento dos níveis de segurança, a limpeza do espaço de trabalho, a produtividade e a manutenção preventiva são alguns dos resultados de um programa 5S (Gupta & Jain *et al.*, 2013).

A ferramenta tem a designação de 5S's devido à sua origem japonesa, consistindo na combinação de cinco termos: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu*, *Shitsuke*. As seguintes palavras têm o seguinte significado.

O primeiro “S” representa “*Seiri*”, ou seja, senso de utilização, que consiste em separar o que é útil do que é obsoleto na área de trabalho. Desta forma, os processos de limpeza são facilitados, o espaço físico é aproveitado e há uma redução de custos com a manutenção de peças.

O segundo “S” representa “*Seiton*”, que significa senso de organização ou de arrumação. Consiste na disposição lógica e eficiente das ferramentas, de modo a reduzir o tempo de procura, recorrendo ao uso de painéis e etiquetas.

O terceiro “S” representa “*Seiso*”, senso de limpeza, que envolve a limpeza e organização diária e contínua do espaço de trabalho e das ferramentas utilizadas, não sendo uma atividade ocasional.

O quarto “S” representa “*Seiketsu*”, que ilustra o senso de saúde e higiene, mantendo o ambiente de trabalho sempre favorável à saúde física e à higiene.

O quinto e último “S” representa “*Shitsuke*”, senso de autodisciplina, que consiste no desenvolvimento de hábitos e no compromisso com a execução dos sentidos anteriores e a sua manutenção (Ali Azawqari *et al.*, 2020; Gupta & Jain *et al.*, 2013; Rivera *et al.*, 2020).

Assim, o 5S demonstrou ser uma abordagem simples e económica para alcançar a Manutenção *Lean*, sendo das ferramentas mais práticas e rápidas no que toca a obtenção de resultados positivos (Omogbai & Salonitis *et al.*, 2017). Esta ferramenta apresenta alguns benefícios como uma maior produtividade, uma maior vida útil das ferramentas, uma melhor qualidade de produtos e serviços, uma menor quantidade de acidentes de trabalho e uma maior satisfação por parte dos trabalhadores. Porém, não é só benefícios, a desmotivação no início da metodologia, caso seja mal

gerenciada, pode levar ao abandono e à necessidade de alterar significativamente a estruturas em certos ambientes.

2.3.3.4 Relatório 3C

Para a resolução estruturada de problemas de média e alta complexidade, o *Kaizen Institute* desenvolveu uma ferramenta eficaz, denominada de Relatório 3C, que procura resolver problemas de forma rápida e eficiente. Um problema é identificado quando há um desvio entre a situação atual e a situação esperada. É importante ressaltar que uma ferramenta de estruturação de problemas deve ser capaz de identificar, analisar e eliminar o problema detetado, além de prevenir a sua reincidência.

Na Figura 2.5 está representado a metodologia 3C que consiste na resolução estruturada de problemas, sendo composta por quatro passos: a definição do problema (Caso), a análise das causas dos problemas (Causas), a identificação de contramedidas (Contramedidas) e a verificação das soluções implementadas (Verificação).

Para o recurso desta ferramenta, o processo deve ser estruturado da seguinte forma: inicia-se pela indicação do tipo de problema que se pretende resolver, descrevendo-o de forma precisa e detalhada, com informações específicas. Após esta definição, são identificadas as possíveis causas do problema, recorrendo ao Diagrama de Espinha de Peixe, até se encontrar a causa raiz. De seguida, definem-se as contramedidas, ou seja, o plano de ações onde são estabelecidas e implementadas as ações mais eficazes e eficientes para a eliminação do problema. Por fim, devem ser verificadas as soluções previamente definidas, através da comparação entre o estado inicial do caso e o estado alcançado, de forma a perceber se a solução permitiu atingir os objetivos estabelecidos (Freitas *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2019).

3C | CASO, CAUSA, CONTRAMEDIDA altoperating system

1. Problema | Caso

Descrição:
 Área:
 Equipamentos:
 Ocorrências:

2. Causa do Problema | Causa

Diagrama de Espinha de Peixe (Ishikawa) com eixos: Material, Meio ambiente, Método, Mão-de-obra, Mão-de-obra, Medição.

3. Plano de Ações | Contramedida

#	AÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA FIM	OBSERVAÇÕES
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

4. Verificação de Soluções

5. Anexos

(a) (b)

Figura 2.5 - Relatório 3C: (a) Caso e Causa; (b) Contramedida e Verificação

2.4 Manutenção produtiva total

Num ambiente industrial, para alcançar a excelência operacional, é essencial aplicar abordagens para enfatizar a otimização da disponibilidade e utilização dos equipamentos. Portanto, a manutenção dos equipamentos é uma função necessária nas empresas, sendo cada vez mais essencial para melhorar a qualidade e a produtividade do equipamento. Neste contexto, muitas empresas procuram implementar a Manutenção Produtiva Total, ou conhecida como *Total Productive Maintenance* (TPM), que é uma metodologia robusta e abrangente inserida dentro da filosofia *Lean*, que visa promover a melhoria contínua dos processos produtivos, com ênfase na redução e eliminação de desperdícios (Agustiady & Cudey *et al.*, 2024; Hassan & Abdul-Kader *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2018).

A melhoria dos processos e a melhoria contínua são os fundamentos essenciais ao TPM. O processo TPM assegura menos avarias, paragens e defeitos enquanto procura a redução de custos e o envolvimento de funcionários de todos os níveis organizacionais. A Manutenção Produtiva Total é a combinação de três conceitos essenciais às operações.

- Total: implica uma análise abrangente de todas as atividades relacionadas com a manutenção do equipamento e o impacto que cada uma tem na disponibilidade;
- Produção: relaciona-se com o objetivo final do esforço, ou seja, produção eficiente e não apenas manutenção eficiente como é muitas vezes incorretamente assumido;
- Manutenção: significa o impulso direcional do programa para assegurar processos fiáveis e garantir a produção (Singh *et al.*, 2018).

No final dos anos 60 e início dos anos 70, no Japão, surgiu um novo paradigma o TPM, desenvolvido pela empresa fornecedora da Toyota a Nippodenso, cujo foco é centrado na produção de zero falhas, na altura, baseado em cinco pilares. Este conceito foi ampliado em 1989, quando o TPM passou a envolver toda a organização, abrangendo desde a gestão de topo até aos operadores da fábrica. A Figura 2.6 apresenta os oito pilares do TPM e a Tabela 2.2 a explicação dos principais objetivos chave de cada pilar. Em 1997, o conceito foi novamente expandido com a introdução dos conceitos de satisfação global, aumentando o rendimento e reduzindo os custos (“Manutenção N°163” *et al.*, 2024; Singh *et al.*, 2018; Valério & Nunes *et al.*, 2017).

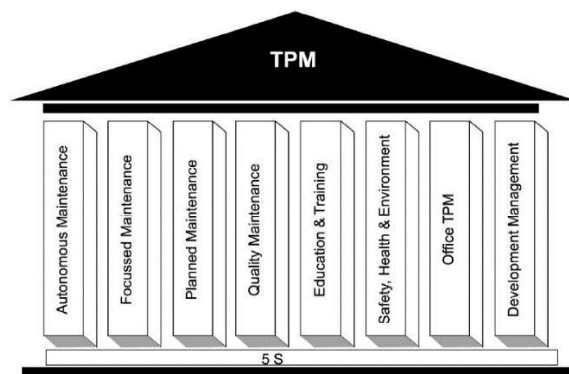


Figura 2.6 - Metodologia do TPM [retirado de (Patil *et al.*, 2018)]

O TPM começa com os 5S's, que constituem a base de toda a metodologia. O 5S é um método de gestão estruturado, cujo objetivo é implementar ações específicas para organizar e limpar o local de trabalho (Valério & Nunes *et al.*, 2017). As técnicas proativas e preventivas estão focadas nos oito pilares da Manutenção Produtiva Total para ajudar a obter melhor fiabilidade nos equipamentos.

Tabela 2.2 - Pilares do TPM [retirado de (Saxena *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2018)]

Pilar	Objetivo
Manutenção Autônoma	Destinada aos operadores de equipamentos nas tarefas de manutenção diária, como limpeza, inspeção e lubrificação, garantindo um bom funcionamento do equipamento.
Melhoria Centralizada	Promover a melhoria contínua de forma constante, por meio de pequenos ajustes progressivos.
Manutenção Planeada	Desenvolver planos de manutenção baseados na análise de falhas e nos tempos de inatividade, com foco no aumento da disponibilidade dos equipamentos e na redução de falhas.
Manutenção da Qualidade	Implementar ações de modo a garantir a qualidade no processo produtivo, prevenindo falhas e evitando retrabalho de produtos.
Educação e Formação	Formação de trabalhadores para a aquisição de competências para realizar manutenção autónoma.
Segurança, Higiene e Meio Ambiente	Criar um ambiente de trabalho seguro e saudável, eliminando riscos para a saúde e segurança através do cumprimento rigoroso de normas.
TPM Administrativo	Tornar o ambiente de trabalho mais eficiente, eliminando desperdícios, definindo metas e acompanhando o desempenho das atividades.
Gestão de Desenvolvimento	Compreensão e conhecimento prático do fabrico no sentido de melhorar a conceção de novos equipamentos.

2.4.1 Overall equipment efficiency

Para tornar possível a medição e monitorização dos resultados da manutenção, é necessário estabelecer medidas aplicáveis para avaliar o desempenho dos sistemas de fabricação. Neste contexto, o TPM pode ser definido em termos de Eficiência Global do Equipamento, ou *Overall Equipment Efficiency* (OEE), que por sua vez, pode ser considerado uma combinação da operação, da manutenção, do gerenciamento de equipamentos e dos recursos disponíveis. O OEE é uma métrica proposta por Nakajima em 1988, que se destaca como uma das melhores práticas para monitorizar os resultados das atividades do TPM e da melhoria *Lean*. A medição do OEE é uma ferramenta importante para analisar a eficiência de equipamentos individuais ou sistemas de fabricação integradas, considerando três fatores essenciais a Disponibilidade, o Desempenho e a Qualidade. A combinação destes fatores ajuda a avaliar a eficácia global dos equipamentos e é fundamental para os processos de melhoria contínua (Cheah *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2018).

Assim, este indicador calcula-se através da equação (2.1), recorrendo à multiplicação dos três fatores.

$$OEE = Disponibilidade \cdot Desempenho \cdot Qualidade \quad (2.1)$$

Onde a Disponibilidade representa a percentagem de tempo programada de operação em que o processo está efetivamente disponível para utilização (equação (2.2)). O Desempenho representa a velocidade com que um equipamento ou linha produz, em relação ao tempo de ciclo ideal, sendo, por isso, necessária uma definição correta desse tempo de ciclo, de acordo com a indústria ou linha de produção em causa (equação (2.3)). Por fim, a Qualidade representa a proporção de unidades conformes face ao total de unidades produzidas (equação (2.4)) (Hedman *et al.*, 2016; Palanisamy & Ananth Vino *et al.*, 2013).

$$Disponibilidade = \frac{\text{Tempo de funcionamento}}{\text{Tempo de produção programada}} \quad (2.2)$$

$$Desempenho = \frac{\text{Tempo de ciclo ideal}}{\left(\frac{\text{Tempo de funcionamento}}{\text{Total de peças}}\right)} \quad (2.3)$$

$$Qualidade = \frac{\text{Peças boas}}{\text{Total de peças}} \quad (2.4)$$

Segundo Nakajima, existem seis grandes perdas (*Six Big Losses*) que contribuem para o baixo desempenho dos equipamentos. As seis grande perdes consistem em falhas ou avarias nos equipamentos, em perdas de tempo de instalação e ajustes, em paragens ocasionais e paragens mínimas, em perdas de velocidades, em defeitos do processo e em baixos rendimentos. Nakajima afirma ainda que, estas perdas estão

divididas em três categorias principais em perdas de Disponibilidade, perdas de Desempenho e perdas de Qualidade.

- As perdas de Disponibilidade incluem falhas ou avarias nos equipamentos e perdas de tempo de instalação e ajustes, o que resulta em tempo de inatividade, reduzindo a disponibilidade dos equipamentos;
- As perdas de Desempenho englobam paragens ocasionais e paragens mínimas, além de perdas de velocidade, o que impacta diretamente no desempenho dos sistemas de fabrico;
- As perdas de Qualidade referem defeitos no processo e baixos rendimentos, que geram perdas de defeitos e reduzem a qualidade do produto final.

Assim, a Tabela 2.3 ilustra as perdas que têm um impacto direto no cálculo do OEE, que reflete o tempo produtivo total da operação (Cheah *et al.*, 2020; Sayuti *et al.*, 2019).

Tabela 2.3 - Categorias das seis grandes perdas da produtividade [adaptado de (Cheah *et al.*, 2020)]

Perdas de Disponibilidade	Falhas ou avarias Perdas de tempo de instalação e ajustes
Perdas de Desempenho	Paragens ocasionais e mínimas Perdas de velocidade
Perdas de Qualidade	Defeito do processo Baixo rendimento
OEE	Tempo produtivo total

2.4.2 Indicadores de manutenção

Os *Key Performance Indicators* (KPIs) ou indicadores de desempenho, são uma das principais formas de medir os resultados das ações de manutenção. Estes são extremamente importantes para os gestores de manutenção, pois permitem avaliar de maneira rápida o desempenho das equipas, processos e equipamentos.

Existem vários indicadores de desempenho, mas o desafio está em identificar quais são os mais relevantes. Os indicadores de manutenção são considerados os mais importantes, pois ajudam a monitorizar e otimizar a eficiência dos processos de manutenção, permitindo que as falhas sejam previstas e prevenidas, garantindo assim um bom funcionamento dos equipamentos. Indicadores como o MTTF, o MTTR, o MTBF, a Disponibilidade e a Taxa de Falha fornecem dados cruciais para identificar o desempenho dos equipamentos e a eficácia das ações de manutenção. Para além disso, possibilitam a identificação de áreas para melhoria, contribuindo

para a redução de custos e o aumento da disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos (Gomes *et al.*, 2018).

O primeiro indicador designa-se tempo médio até à falha, traduzido de *Mean Time to Failure* (MTTF), e refere-se ao tempo médio de funcionamento de um equipamento até ocorrer uma falha. Este indicador é definido pelas horas reais de produção divididas pelo número de falhas de um equipamento durante esse período (equação (2.5)).

$$MTTF = \frac{\text{Tempo de produção}}{N^{\circ} \text{ de falhas}} \quad (2.5)$$

O segundo indicador designa-se tempo médio de reparação, ou *Mean Time to Repair* (MTTR), e centra-se na capacidade de manutenção sendo classificado como o tempo médio para reparar ou substituir um componente (equação (2.6)) (Nurprihatin *et al.*, 2019).

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de paragem}}{N^{\circ} \text{ de falhas}} \quad (2.6)$$

Os dois indicadores anteriores deram origem a um terceiro, ao tempo médio entre falhas ou *Mean Time Between Failures* (MTBF). Este terceiro indicador é definido como o tempo médio de espera até que a próxima falha aconteça (equação (2.7)) (Nurprihatin *et al.*, 2019).

$$MTBF = \frac{\text{Tempo efetivo de produção}}{N^{\circ} \text{ de falhas}} \quad (2.7)$$

O próximo indicador é a Disponibilidade, que corresponde à aptidão de um equipamento para estar em condições de cumprir funções específicas, em determinadas condições, num dado instante ou durante um intervalo de tempo. A disponibilidade de um equipamento depende da sua fiabilidade, manutenibilidade e da eficiência do departamento de manutenção. Por exemplo, considerando um valor de disponibilidade de 0.95, significa que o equipamento está disponível 95% do tempo. De acordo com Peinado e Graemi, em 2007, a disponibilidade é expressa matematicamente como a razão entre o MTBF e o MTTR (equação (2.8)) (Martins & Rosa *et al.*, 2022; Soares *et al.*, 2015).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \cdot 100 \quad (2.8)$$

Por fim, a Taxa de Falha (λ), é a percentagem de indisponibilidade apresentada pelos equipamentos por motivos de manutenção, ou seja, por falhas (equação (2.9)). A Taxa de Falha varia ao longo da vida de um equipamento, normalmente representado pela “Curva de Banheira” (Soares *et al.*, 2015).

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Tempo}} \text{ ou } \lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad (2.9)$$

2.5 Manutenção centrada na fiabilidade

A Manutenção Centrada na Fiabilidade, ou do inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM), é um método amplamente reconhecido para desenvolver políticas de gestão de falhas, com o objetivo de sustentar o desempenho funcional dos equipamentos. Este conceito originou-se inicialmente no setor aéreo na década de 1960 e trata-se de um procedimento normalizado para determinar o tipo e a frequência de manutenção mais adequada para unidades de equipamento específicos.

O RCM combina práticas de manutenção reativas, baseadas no tempo ou intervalo, manutenção baseada em condições e manutenção proativa. Leva em consideração as características únicas de cada equipamento, identificando possíveis problemas que possam surgir e propondo as melhores estratégias de manutenção para minimizar ao máximo a possibilidade de ocorrência das falhas. Para isso, utiliza-se ferramentas como o MTTR e o MTBF para avaliar o tempo médio necessário para reparar os equipamentos e o intervalo médio de tempo entre falhas, ainda se pode utilizar ferramentas como o FMEA, ajudando a identificar e avaliar os modos de falha potenciais em sistemas e equipamentos, permitindo priorizar as ações de forma eficiente ou ainda o Diagrama de Pareto, que por sua vez, é útil para identificar as falhas mais frequentes e as suas causas, aplicando o princípio 80/20 para os recursos de manutenção sejam direcionados de forma mais eficaz. Estas abordagens integradas permitem que o RCM atenda às necessidades de cada sistema, enquanto maximiza a eficiência e reduz custos operacionais (Afefy *et al.*, 2010; Khalil Ur *et al.*, 2023; Sifonte & Reyes-Picknell *et al.*, 2017).

Deste modo, como o nome sugere, a Manutenção Centrada na Fiabilidade tem como objetivo garantir a longevidade e a disponibilidade dos equipamentos, através de um processo sistemático que melhora a eficiência e a fiabilidade do sistema. O método RCM segue etapas específicas para identificar e resolver falhas, com o intuito de minimizar e aumentar a eficiência. As etapas do RCM são as seguintes (Afefy *et al.*, 2010; Mulya *et al.*, 2023):

- 1ª etapa: Seleção do sistema e recolha de dados;
- 2ª etapa: Definição dos limites do sistema;
- 3ª etapa: Descrição do sistema e bloco funcional;
- 4ª etapa: Falhas funcionais da função do sistema;
- 5ª etapa: Análise do efeito do modo de falha;
- 6ª etapa: Recurso a diagramas;
- 7ª etapa: Seleção das tarefas (Afefy *et al.*, 2010).

Desta forma, evita-se manutenções desnecessárias, maximizando o tempo de atividade dos equipamentos e aumentando a sua produtividade.

2.5.1 Tipos de falha

De acordo com Stanley Nowlan e Howard Heap em *Reliability-Centered Maintenance* (1978) uma falha pode ser definida como qualquer desvio da condição original que seja considerado insatisfatório por um utilizador específico. A avaliação do que é ou não insatisfatório depende das implicações de uma falha no contexto de opera em que ocorre. O que pode ser aceitável em determinadas condições pode ser inaceitável em outras, dependendo dos requisitos específicos e das consequências do desvio. A linha entre o que é considerado satisfatório e insatisfatório pode variar consoante a função do equipamento, a natureza do sistema em que está inserido e o ambiente operacional em que é utilizado. Assim, os critérios para distinguir entre condições satisfatórias e insatisfatórias irão variar entre diferentes organizações operacionais. Dentro de uma organização, é crucial que estes limites sejam claramente definidos e compreendidos para cada item, de forma objetiva e sem ambiguidades.

Neste sentido, o objetivo de uma organização de manutenção eficaz é garantir o desempenho necessário do sistema, mantendo os custos baixos. Para isso, a abordagem de manutenção deve ser fundamentada numa compreensão detalhada das falhas em cada nível do sistema. Os componentes dos sistemas podem apresentar degradação ou mesmo falhar sem comprometer o funcionamento geral do sistema. Nem todas as falhas de componentes têm impacto significativo no desempenho global do sistema, dependendo da sua função e da criticidade do equipamento. Portanto, é essencial compreender as implicações de cada falha no contexto geral do sistema, para que a manutenção seja realizada de maneira eficaz e eficiente (NASA *et al.*, 2008; Nowlan & Heap *et al.*, 1978).

As falhas podem ser classificadas com base em diversos critérios, como causas, modo de manifestação, amplitude e natureza.

Quanto às causas, as falhas podem ser intrínsecas ou extrínsecas. São intrínsecas quando resultam de características próprias do equipamento, previstas pelos fabricantes por meio de ensaios normalizados de fiabilidade. Por outro lado, são extrínsecas quando são provocadas por falhas em outros equipamentos, utilização inadequada ou acidentes.

Em relação ao modo de manifestação, a falha pode ser súbita ou progressiva. A falha súbita, ou catastrófica, ocorre quando há uma variação abrupta numa ou mais características do dispositivo, o que o torna inutilizável. Este tipo de falha é imprevisível. Já, a falha progressiva, ou por degradação, resulta de mudanças graduais que ultrapassam os limites de resistência do equipamento, podendo ser previstas e evitadas com a manutenção preventiva.

Quanto à amplitude, a falha pode ser parcial ou completa. Uma falha parcial não impede completamente o funcionamento do equipamento, mas provoca desvios nos

limites operacionais. Já uma falha completa resulta na perda total da função, interrompendo o funcionamento do equipamento.

Por fim, a natureza da falha é um critério importante, pois permite identificar as medidas corretivas necessárias após a análise de falhas. Neste caso, uma falha pode ser de natureza elétrica, mecânica, hidráulica, pneumáticas, eletrônicas, entre outras.

O processo de seleção para a gestão de falhas deve considerar que a probabilidade condicional de falha de alguns modos aumenta com a idade, enquanto a probabilidade condicional de outros mantém-se inalterada e até diminui com o tempo. Um dos aspetos mais relevantes para definir a política de gestão de falhas é compreender a relação entre a idade (ou a nível de stress) e a falha do equipamento. Segundo o artigo SAE JA1012, existem seis padrões distintos de variação da probabilidade condicional de falha ao longo da vida útil de um equipamento (Figura 2.7) (SAE JA1012 *et al.*, 2002).

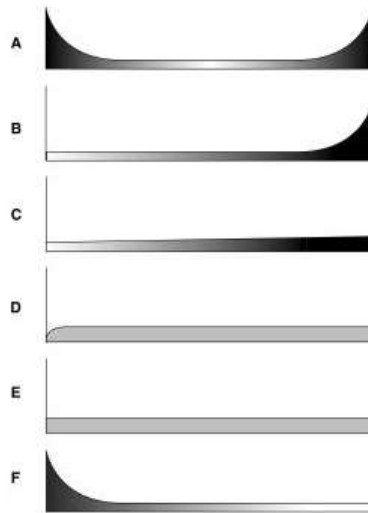


Figura 2.7 - Seis padrões de falha [retirado de (SAE JA1012 *et al.*, 2002)]

- A. É caracterizado pela Curva de Banheira, como referido anteriormente. Este padrão inicia-se com uma alta taxa de falhas (Mortalidade Infantil), seguida por uma fase de falhas constantes (Período de Vida Útil), e com o passar do tempo, o equipamento entra numa fase de desgaste acelerado (Período de Desgaste);
- B. Demonstra uma probabilidade de falha constante ou com um aumento gradual, que depois resulta numa fase de desgaste acelerado;
- C. Exibe um aumento lento na probabilidade de falha ao longo do tempo, mas sem uma fase de desgaste claramente identificável (não apresenta uma fase de desgaste definida);
- D. Começa com uma baixa probabilidade de falha quando o equipamento é novo ou recém reparado, seguido por um aumento rápido até atingir um nível constante de falhas;

- E. Apresenta uma probabilidade condicional de falha durante toda a vida útil do equipamento, refletindo falhas aleatórias;
- F. Inicia com uma alta taxa de falhas (Mortalidade Infantil), que posteriormente diminui para um valor contante ou com um aumento muito lento.

Em geral, os padrões de falha associados à idade são aplicáveis tanto a equipamentos simples quanto a equipamentos complexos, especialmente quando existe um modo de falha dominante. Esses padrões estão frequentemente relacionados ao desgaste direto (normalmente quando o equipamento entra em contacto direto com o produto), bem como a fenômenos como fadiga, corrosão, oxidação e evaporação (SAE JA1012 *et al.*, 2002).

Segundo Assis, em 2004, as principais causas de uma falha num componente podem ser classificadas em diversas categorias:

1. Erros na fase de projeto;
2. Deficiências no processo de seleção de materiais;
3. Defeitos no processo de fabrico;
4. Manutenção inadequada;
5. Sobrecargas durante o serviço, devido a acidentes, falha de conhecimento ou negligência;
6. Condições ambientes, imprevistas pelo fabricante.

Dentro destas categorias, a manutenção inadequada é destacada como uma das principais causas de falha, especialmente porque está sob total controlo do utilizador do equipamento. Segundo o autor, as principais causas de falha dentro desta categoria incluem:

- O desrespeito pelas condições de utilização estabelecidas pelo fabricante;
- Falhas na manutenção, como a ausência de lubrificação, práticas inadequadas de lubrificação nos intervalos de tempo definidos, negligência ou falta de conhecimento nas inspeções e falhas na monitorização dos equipamentos;
- Erros cometidos pelos técnicos durante a manutenção preventiva ou corretiva.

Estes fatores podem contribuir significativamente para o desgaste prematuro e a falha do sistema (Soares *et al.*, 2015).

2.5.2 Análise de causa raiz

A Análise de Causa Raiz, mais conhecida como *Root Cause Analysis* (RCA), como demonstrado pelo caso de Fukushima que foi uma falha catastrófica em 2011 que originou uma crise nuclear na central nuclear de Fukushima Daiichi, é uma ferramenta essencial nas técnicas modernas de resoluções de problemas. Trata-se de um processo estruturado utilizado para identificar as causas profundas de um problema, em vez de simplesmente tratar dos sintomas. Esta abordagem é importante em vários setores, incluindo na manutenção, saúde e tecnologia de

informação, onde os sistemas e processo complexos frequentemente geram problemas diversos. Assim, ao identificar a causa raiz, a RCA permite que as organizações implementem soluções eficazes e duradouras de problemas, a RCA desempenha um papel crucial na gestão de riscos, na garantia de qualidade e na eficiência operacional, sendo uma base importante para a resiliência organizacional (Magistro & Seggel *et al.*, 1975; Majka *et al.*, 2024).

A Análise de Causa Raiz apresenta várias etapas, que devem ser seguidas rigorosamente a fim de garantir que todos os aspetos do problema são examinados e que as soluções implementadas são eficazes e sustentáveis.

Portanto, a primeira etapa no processo da RCA é definir claramente o problema, evitando atribuir culpas e focando nos aspetos objetivos, como o que aconteceu, onde, quando e o impacto do mesmo. Isto ajuda a garantir uma compreensão comum entre as partes envolvidas. Uma vez definido o problema, a próxima etapa a se realizar é a reunir de dados relevantes e precisos que ajudam a entender o contexto e as causas possíveis. Com os dados em mãos, a identificação de possíveis causas do problema é a próxima a etapa a desenvolver, utilizando ferramentas de analíticas, como a técnica dos 5W2H ou o Diagrama de Ishikawa, para explorar todas as possíveis causas do problema. Após a identificação das possíveis causas do problema, a determinação da causa raiz entra em curso, onde o objetivo é encontrar a causa fundamental do problema, validando-a com testes de hipóteses ou simulações de cenários. Uma vez que a causa raiz tenha sido identificada e validada, de seguinte desenvolve-se soluções práticas e viáveis para resolver o problema e evitar que este se repita, envolvendo as partes interessadas no processo. Por fim, a última etapa do processo RCA é monitorar e avaliar a eficácia das ações corretivas, utilizando indicadores-chave para garantir que o problema foi resolvido e que as soluções estão funcionando como esperado. Caso necessário, o processo pode ser revisitado para corrigir problemas adicionais (Majka *et al.*, 2024).

2.5.3 Análise FME(C)A

A gestão do ciclo de vida de um equipamento, assim como a sua manutenção, são um desafio complexo, devido à imprevisibilidade de quando e como uma falha pode ocorrer, além dos impactos que pode gerar no sistema e na organização. Neste contexto, a filosofia RCM utiliza a metodologia Análise de Modo e Efeitos de Falha, ou *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) para identificar os modos e efeitos de falhas, permitindo o reconhecimento de diferentes variáveis que auxiliam na tomada de decisões.

A FMEA é uma técnica de análise de fiabilidade que visa documentar todos os possíveis modos de falha que podem ocorrer durante a operação de um sistema, com base em regras e parâmetros previamente definidos. O objetivo desta ferramenta é, através da análise dos modos de falha, avaliar os impactos de cada falha no funcionamento do sistema e identificar pontos críticos que podem comprometer o

sucesso da operação ou a segurança. A FMEA é uma técnica que procura alcançar objetivos específicos, como:

1. A identificação e avaliação das falhas potenciais que podem ocorrer num produto ou processo;
2. A identificação de ações ou preventivas para reduzir ou até mesmo eliminar a probabilidade desses falhas;
3. A documentação do processo de análise, criando um histórico que possa ser útil em revisões ou no desenvolvimento futuro do projeto ou processo.

Além disso, a FMEA pode classificar as falhas com base na sua criticidade, na categoria de efeito e na probabilidade de ocorrência. Este procedimento resulta de duas etapas: a análise de modo e efeito de falha (FMEA) e a análise de criticidade (CA). Embora a FMEA possa ser realizada sem a análise de criticidade, a análise de criticidade depende da FMEA, pois requer a identificação prévia dos modos de falha críticos para os produtos na produção do sistema. Quando ambas as etapas são concluídas, o processo denomina-se de Análise de Modo, Efeito e Criticidade de Falha ou *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* (FMECA) (Banghart *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2023; Zasadzień *et al.*, 2014).

A análise de uma falha deve ser realizada de maneira lógica, utilizando métodos numéricos para a avaliar e quantificar os riscos envolvidos. Neste contexto, o Número de Prioridade de Risco, ou *Risk Priority Number* (RPN) surge como uma alternativa para a avaliação de criticidade. O RPN é um método destinado a classificar e priorizar os modos de falha, desenvolvendo estratégias para redução de risco e diminuição das suas consequências. Quanto maior o valor de RPN, maior é o risco associado ao modo de falha. Assim, o RPN é definido como o produto de três fatores avaliados independentemente: Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D), conforme expresso na equação (2.10). Cada fator assume valores de “1” a “10”, sendo “10” indicativo de um nível de perigo e “1” indicativo de um nível baixo.

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.10)$$

Assim, a Severidade é a avaliação do nível de gravidade do modo de falha potencial, a Ocorrência é a probabilidade de uma causa ou mecanismo específico ocorrer e a Detecção é a avaliação do nível da capacidade para detetar uma potencial causa de falha ou a capacidade de detetar o seu modo de ocorrência (Banghart *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2023).

Tanto a análise FMEA quanto a análise FMECA são ferramentas muito versáteis, podendo ser utilizadas para contribuir para a melhoria de projetos dos equipamentos e dos processos, para a otimização dos planos de manutenção dos sistemas separáveis, para o controlo os planos e os procedimentos de garantia da qualidade, e para a elaboração de uma base de conhecimento dos modos de falha e das ações corretivas a implementar em futuras situações de reposição de funcionamento.

2.5.4 Análise da árvore de falhas

A técnica de Análise de Árvore de Falhas, ou *Fault Tree Analysis* (FTA), é um método utilizado para representar, por meio de um diagrama de blocos, os elementos de níveis inferiores que contribuem para falhas num sistema. Esta técnica determina, de uma forma lógica, como falhas em componentes de menor nível podem originar falhas mais críticas nos níveis superiores. Esta abordagem é particularmente útil em análises de segurança, pois ajuda a evitar lacunas que podem ocorrer FMEA. Ambos os métodos são complementares na análise de risco, sendo selecionados consoante a natureza do risco a avaliar.

No entanto, estas abordagens apresentam diferenças. A análise FTA pode ter uma maior probabilidade de interpretações incorretas ao considerar as falhas em inferiores. Por outro lado, o FMEA, que inicia a análise a partir do nível mais baixo, tendo a ser mais eficaz, desde que existam dados adequados para essa análise. Além disto, o FMEA está mais orientado para uma análise de falhas isoladas, enquanto o FTA considera falhas múltiplas que podem interagir. De uma maneira geral, o FTA exige um nível de competência mais elevado do que o FMEA, devido à complexidade das interações que necessita analisar (Department of Defense *et al.*, 1998).

O conceito de FTA foi desenvolvido por Harry Watson, em 1961, tendo a sua primeira aplicação em sistemas de controlo de mísseis balísticos intercontinentais. Atualmente, muitas indústrias utilizam o FTA para avaliar a adequação dos sistemas em termos de risco e fiabilidade, ajudando a prever o seu desempenho.

Para a estruturação da Análise de Árvore de Falhas, existe um conjunto de etapas e um conjunto de simbologias (Figura 2.8) que servem como orientação para a edificação e respetiva aplicação (Department of Defense *et al.*, 1998; Sobral *et al.*, 2010).

1. Definir com clareza os acontecimentos de topo. Sendo que, o FTA é conhecido pela análise de cima para baixo, tornando-se crítico definir o topo;
2. Estruturar o sistema para que se tenha uma visão clara e objetiva, como por exemplo, identificando componentes, pontos críticos e níveis de risco;
3. Reconhecer as possíveis falhas, sendo ainda importante identificar os modos, efeitos e causa das falhas;
4. Construir a árvore de falhas com o máximo detalhe possível. Nesta fase, é importante utilizar portas lógicas e simbologia normalizada, assim como considerar dependências de falhas, arranjos físicos e redundâncias;
5. Calcular as probabilidades de falha em função dos dados disponíveis, através de métodos analíticos, identificando ainda os caminhos críticos;
6. Avaliar e analisar os resultados obtidos para os acontecimentos de topo;

- Implementar e monitorizar ações de manutenção para os bens críticos definidos.

	Porta lógica "E" (Gate "AND") – O output só se verifica se um e outro input se verificarem
	Porta lógica "OU" (Gate "OR") – O output verifica-se se um ou outro dos inputs se verificarem – também designado por "OU Inclusivo"
	Porta lógica "k de n" ("Voting Gate") – O output verifica-se se pelo menos "k" dos "n" inputs se verificarem
	Acontecimento "FALHA BÁSICA" ou "FALHA PRIMÁRIA"
	Acontecimento "NÃO DESENVOLVIDO" – Considera-se não ser necessário desenvolver mais o acontecimento em termos de causas
	Acontecimento "FALHA DE TOPO" ou DESCRIÇÃO INTERMÉDIA
	Acontecimento "CASA" – Pode ocorrer ou não ocorrer com certeza (TRUE or FALSE)
	Porta lógica "INIBIÇÃO" ("INHIBIT Gate") – O input produz o output quando o acontecimento condicional existir
	Acontecimento "CONDICIONAL" usado com a porta Inibição
	Transferência, Repetição ou Sub-Árvore correspondente ao respectivo ramo assinalado no fluxograma lógico

Figura 2.8 - Simbologia e nomenclatura da árvore de falhas [retirado de (Sobral *et al.*, 2010)]

A Figura 2.9 ilustra um exemplo da forma base de um diagrama de árvore de falhas.

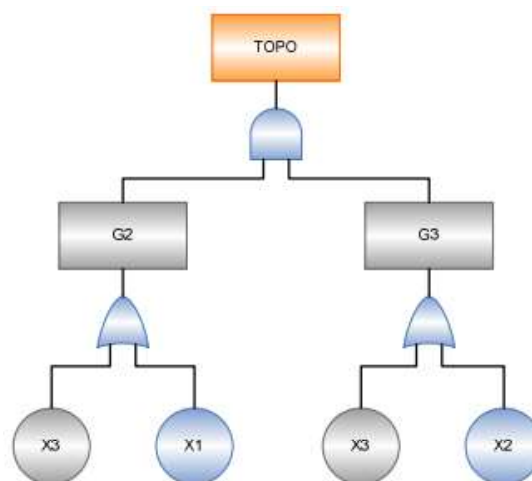


Figura 2.9 - Árvore de falhas [retirado de (Sobral *et al.*, 2010)]

2.6 Gestão de qualidade total

O *Total Quality Management* (TQM) tem as suas raízes no início do século XX. Em 1910, a Ford foi a primeira a implementar um inspetor de qualidade para avaliar a qualidade dos seus produtos. Duas décadas mais tarde, entre 1920 e 1930, Walter Shewart desenvolveu técnicas de controlo de qualidade usando métodos estatísticos. Durante a Segunda Guerra Mundial, em 1940, os especialistas americanos desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento do conceito de qualidade no Japão, estabelecendo a ideia de que a qualidade deveria ser um esforço de toda a organização. Esta abordagem levou ao desenvolvimento do TQM, que

foca na melhoria e no envolvimento de todos os colaboradores no processo de qualidade (Alcaraz *et al.*, 2025).

A Gestão de Qualidade Total (TQM) tem sido amplamente utilizada em muitas organizações para melhorar a qualidade de serviço e nos últimos anos, a sua importância cresceu significativamente, tanto no campo prático quanto teórico. O TQM foi desenvolvido a partir de diversos fatores críticos, que variaram de autor para autor, mas os elementos centrais incluem liderança, planeamento da qualidade, gestão de recursos humanos, gestão de processo, colaboração com clientes e fornecedores, e o foco na melhoria contínua. Segundo a literatura, os componentes do TQM podem ser organizados em duas dimensões principais, o sistema de gestão e o sistema técnico (Tari & Sabater *et al.*, 2004; Tyasti & Caraka *et al.*, 2017).

De acordo com diversos autores, as ferramentas e técnicas para melhorar a qualidade são instrumentos práticos, que facilitam a implementação de mudanças e promovem melhorias nas organizações. Uma ferramenta é geralmente um dispositivo com uma função específica e clara, sendo aplicada isoladamente, enquanto uma técnica envolve um conjunto mais amplo de ferramentas, com uma aplicação mais abrangente. Assim, Ishikawa e McConnell identificaram um conjunto de sete ferramentas essenciais para o TQM, que inclui:

- Fluxogramas;
- Diagramas de Ishikawa;
- Diagramas de Pareto;
- Histogramas;
- Gráficos de execução;
- Cartas de controlo;
- Diagramas de dispersão.

Estas ferramentas e técnicas foram analisadas através de uma pesquisa que questionou os responsáveis pela qualidade sobre o seu conhecimento e uso da mesma, transformando as respostas em variáveis dicotómicas. O objetivo foi criar uma escala sumativa, que permitisse medir a utilização de cada um dessas ferramentas no processo de melhoria contínua das organizações (Tari & Sabater *et al.*, 2004).

2.6.1 Diagrama de espinha de peixe

O Diagrama de Ishikawa é um conceito que foi introduzido, em 1942, por Kaoru Ishikawa, podendo ser também designado por Diagrama de Espinha de Peixe, devido ao seu formato. Este diagrama discute a importância da implementação de ferramentas da qualidade, afirmando que 95% dos problemas de qualidade podem ser resolvidos por ferramentas simples, como as ferramentas básicas da qualidade (Fernandes & Sousa *et al.*, 2013). O Diagrama de Ishikawa é uma ferramenta gráfica utilizada para identificar, organizar e categorizar as causas de um problema ou falha, facilitando a análise das causas de raízes de um evento específico. Através dele, é

possível ilustrar a relação entre o resultado e os diversos fatores que podem influenciá-lo, permitindo uma visão clara das causas que contribuem para um processo (Coccia *et al.*, 2017; Fernandes & Sousa *et al.*, 2013; Pacana & Siwiec *et al.*, 2020; Stefanovic *et al.*, 2014).

Assim, para a construção do Diagrama de Ishikawa, o primeiro passo é a definição do problema, que pode ser qualquer resultado ou ocorrência indesejável no processo. Uma vez definido, este deve ser inserido no gráfico, indicando qual é o problema presente, como se pode observar na Figura 2.10. A linha principal do diagrama é criada anotando-se as causas do primeiro nível, que podem ser identificadas e agrupadas através do método dos 6M's: Materiais, Meio ambiente, Máquinas, Mão de obra, Métodos e Medição. Por consequência, as causas de primeiro nível podem originar causas de segundo nível, escritas por baixo, podendo ainda existir mais do que um ou dois subníveis. Por fim, a última etapa consiste na análise posterior das causas dispostas no diagrama (Liliana *et al.*, 2016).

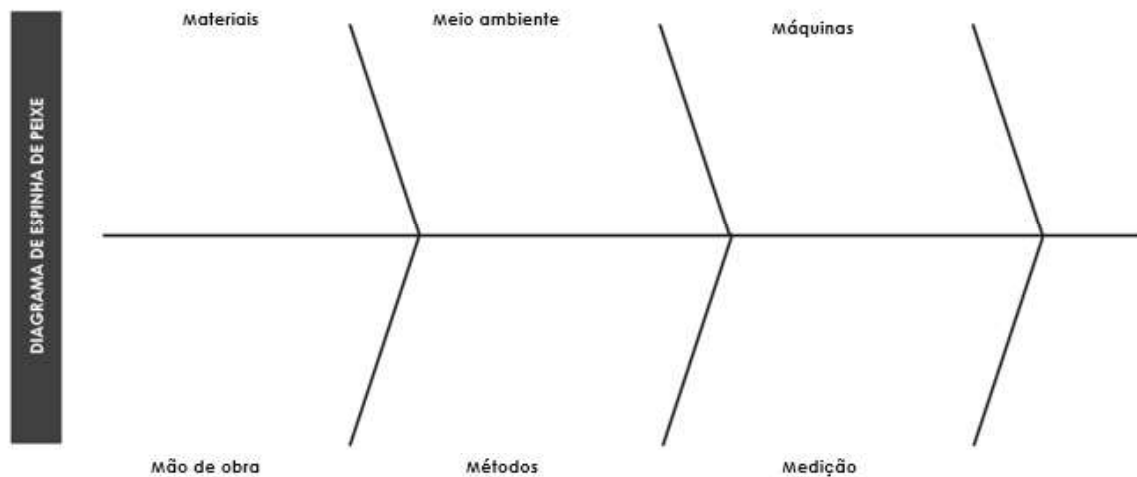


Figura 2.10 - Representação do diagrama de espinha de peixe

2.6.2 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto, desenvolvida por Vilfredo Pareto, é uma ferramenta de qualidade que permite identificar as principais causas e problemas que afetam uma condição específica. Com um maior conhecimento das suas causas e variações, é possível promover melhorias nos processos. Esta ferramenta organiza as informações de forma clara e visual, classificando-as por ordem de importância. Desta maneira, identifica erros e contribui para a redução de custos, riscos e problemas no produto ou serviço (Santos *et al.*, 2020; Zasadzień *et al.*, 2014).

A principal finalidade desta ferramenta é recolher dados para criar um gráfico de barras, organizado de forma decrescente, a fim de identificar as categorias mais problemáticas. Isto facilita a comunicação das prioridades e das necessidades de ação dentro da organização, proporcionando uma visão clara e objetiva das áreas que exigem maior atenção. Após definir um problema específico, o diagrama classifica

as causas com base em parâmetros como frequência, gravidade e natureza, utilizando gráficos de barras. A partir dos dados recolhidos, é possível visualizar a urgência das ações, destacando a causa mais recorrente, que requer a maior atenção (Hossen *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2020).

Pareto propôs que o diagrama seguisse um princípio de 80/20, ou seja, 80% dos problemas eram originados por 20% das causas. Isto significa que um número reduzido de causas origina a maioria dos problemas e, portanto, as ações de melhoria devem se concentrar nestas causas mais impactantes (Hossen *et al.*, 2017).

Para dar início a construção do Diagrama de Pareto, expresso na Figura 2.11, o primeiro passo a realizar é a recolha dos dados, que inclui as causas de falha, o número de ocorrências, a percentagem de ocorrência no total e a percentagem acumulada. Com os dados recolhidos, o próximo passo é contruir os gráficos de barras, ordenando-os de forma decrescente de acordo com a importância. Por fim, deve-se traçar uma curva das frequências acumuladas (Santos *et al.*, 2020).

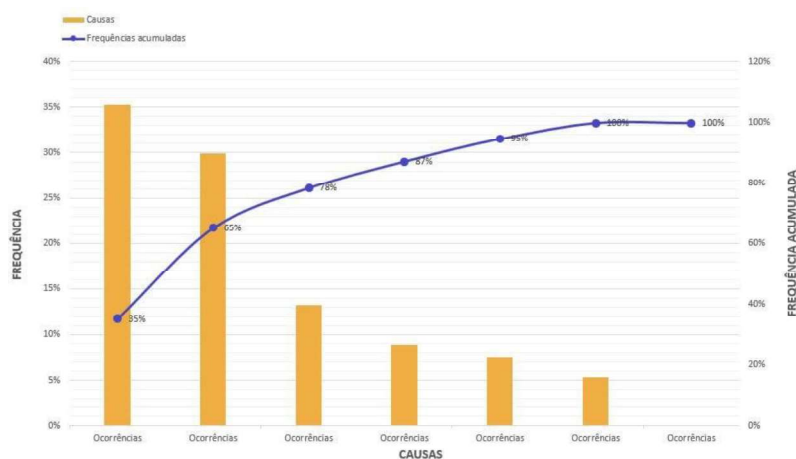


Figura 2.11 - Representação do diagrama de pareto [retirado de *Diagrama de Pareto* (Forlogic, 2016)]

O Diagrama de Pareto é uma ferramenta valiosa para identificar e priorizar os problemas mais relevantes num processo, facilitando a tomada de decisões. Ao se concentrar nas principais causas, o diagrama permite uma abordagem mais eficiente na resolução de questões, contribuindo para a melhoria contínua e otimização de recursos.

2.6.3 Matriz GUT

Esta técnica foi desenvolvida, em 1997 por Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe, especialistas em desenvolvimento de soluções para questões organizacionais. A Matriz GUT é um método complementar à análise FME(C)A, onde prioriza problemas, tendo em consideração a sua Gravidade, Urgência e Tendência (G, U, T). O critério de Gravidade avalia os impactos a médio e longo prazo caso a falha ocorra sem ação corretiva, considerando os efeitos negativos nas pessoas, organizações, equipamentos, processos e resultados caso o problema não

seja resolvido. A Urgência define a importância de eliminar o problema em função do tempo necessário para o resolver definitivamente. Por fim, a Tendência define o potencial de evolução do problema, permitindo avaliar a sua progressão e a eventual redução ou eliminação do problema (Alves *et al.*, 2017; Trucolo *et al.*, 2016).

Devido ao caráter prioritário, esta técnica é bastante utilizada em conjunto com o Diagrama de Pareto e o Diagrama de Espinha de Peixe (Ishikawa), ou até a metodologia da análise ABC. A análise ABC é amplamente utilizada para categorizar e priorizar problemas encontrados em distintos casos, através do princípio de 80/20 de Pareto, que como referido anteriormente, dita que 80% dos resultados são provindos de 20% das causas (Alves *et al.*, 2017).

Após uma breve definição dos três indicadores da matriz GUT, face às diferentes causas do problema em análise, é atribuído uma numeração de “1” a “5” de forma a classificar, por ordem decrescente, os problemas a tratar. Desta forma, obtém-se uma quantificação exata do risco de cada causa, onde os problemas com maior pontuação devem ser tratados prioritariamente (Trucolo *et al.*, 2016).

Trucolo, em 2016, descreve a aplicação da Matriz GUT em quatro etapas. Numa primeira fase, é fundamental definir e enumerar os problemas, sendo aconselhável o envolvimento de todos os responsáveis pelo processo em análise. O segundo passo é a classificação dos problemas de acordo a numeração mencionada anteriormente (1 a 5). Para auxiliar este processo, os parâmetros podem ser considerados da seguinte forma a Gravidade, entre “sem gravidade” e “extremamente grave”; a Urgência, entre “pode ser adiado” e “necessita de atenção imediata”; e a Tendência, entre “não irá mudar” e “irá rapidamente piorar”.

Após a atribuição de valores aos diferentes problemas, é criada a coluna resultante da multiplicação dos três parâmetros, ordenada de forma decrescente para realçar os resultados mais “pesados” e, conseqüentemente, mais críticos. Finalmente, a quarta etapa corresponde à análise estratégica dos problemas mais impactantes, apresentados em formato de tabela, como exemplificado na seguinte Tabela 2.4 (Trucolo *et al.*, 2016).

Tabela 2.4 - Modelo da matriz GUT [adaptado de (Trucolo *et al.*, 2016)]

Problema	G “Gravidade”	U “Urgência”	T “Tendência”	GUT
Causa 1	5	5	5	125
Causa 2	4	4	5	80
Causa 3	3	5	4	60

3 EMPRESA DE ACOLHIMENTO

No capítulo que se segue, é realizado a apresentação da empresa onde foi realizou o estágio, a Celbi S.A, pertencente ao Grupo Altri, bem como a missão a visão e os valores da empresa. Posteriormente, é descrita a explicação do processo de fabrico, tal como o processo de produção de pasta de papel, produção de energia e tratamento de águas residuais. Por fim, é apresentado a organização da empresa, destacando a Direção de Manutenção.

3.1 Celbi S.A.

A Celbi, originalmente denominada de Celulose Billerud SARL, foi fundada no ano de 1965 na Leirosa, a 15 quilómetros a sul da Figueira da Foz, em Portugal, como uma iniciativa da Billerud AB, uma empresa sueca ligada a um dos maiores grupos industriais portugueses da altura, a Companhia União Fabril (CUF). Os primeiros acionistas da Celbi foram a Billerud, com 71% do total do capital social, a CUF que participou com 23%, e um grupo de produtores florestais, que subscreveram 6% (Figura 3.1).



Figura 3.1 - Vista aérea da fábrica Celbi

A empresa arrancou em 1968, com a produção de pasta solúvel destinada à fabricação de fibra têxteis, com cerca de 80 mil toneladas de capacidade máxima. A decisão de produzir pasta solúvel foi reajustada nos primeiros anos de atividade, pelo facto da produção de pasta para fibras têxteis enfrentava sérios problemas de mercado na altura e então a unidade foi ajustada para produzir pasta papeleira com uma capacidade que, naquela data, atingia as 120 mil toneladas anuais, alterando a sua designação social, passando a se designar por Celbi SARL, Celulose Beira Industrial SARL. Mais tarde, em 1984, o capital da Celbi passa a ser detido pela empresa sueca, STORA, integrando assim o grupo STORA CELL AB, fruto de

diversas operações de concentração da indústria florestal observadas durante a primeira metade dos anos 80.

Em 1995, o governo português transfere a sua participação na empresa, ao vender toda a sua parte à STORA CELL AB, que passou a deter o seu capital. A Celbi passou então a designar-se por Stora Celbi - Celulose Beira Industrial, SA. Ao fim de três anos, acontece a criação do grupo Stora Enso, resultante da fusão de duas empresas uma sueca, STORA e uma finlandesa Enso, momento em que a empresa retoma a sua denominação, Celulose Beira Industrial (Celbi) SA.

No ano de 2006, em julho, o grupo ALTRI anuncia ter celebrado um contrato conducente à aquisição de 100% dos direitos de voto da organização. Com a assinatura do Contrato de Investimento com a Associação Portuguesa de Investimento (API), em 2007, a capacidade de produção de pasta aumentou de 300 mil para 550 mil toneladas por ano. Após este aumento de capacidade de produção de pasta, em novembro de 2013, é assinado com a Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal (AICEP) o Contrato de Investimento relativo ao projeto C15, projeto esse que visou o aumento da eficiência e da competitividade. Um ano depois a Celbi atinge um novo recorde de produção anual de 687 mil toneladas de pasta branqueada de eucalipto.

Atualmente, com mais de 50 anos de existência, a Celbi SA, faz parte do Grupo Altri, e dedica-se à produção de pasta de fibra curta, de elevada qualidade, a partir de eucalipto, adequada para a produção de determinados tipos de papel e cartão, no qual estão igualmente inseridas a Caima e a Biotek, também produtoras de pasta de eucalipto branqueada, com uma produção anual de cerca de 1 milhão de toneladas. Além das três fábricas de pasta de papel, o Grupo Altri conta também com a Altri Florestal e a EDP Bioelétrica (Figura 3.2). A gestão florestal é uma atividade central para a Altri, que administra em Portugal cerca de 90,4 mil hectares de floresta certificada, alcançando uma autossuficiência florestal na ordem dos 20%. Para melhorar a eficiência na gestão das suas florestas, o Grupo adquiriu 50% da EDP Bioelétrica, uma empresa, em parceria com a EDP, voltada à produção de energia elétrica a partir de biomassa florestal.

A missão da Celbi passa pelo fornecimento de pastas de eucalipto, produzida de forma económica e ambientalmente sustentável, satisfazendo os requisitos e expectativas de todos os clientes com a visão final de estar entre os melhores produtores europeus de pastas de fibra curta e entre os mais competitivos à escala mundial. Hoje, é uma referência mundial na produção de pasta de eucalipto do tipo *Bleached Eucalyptus Kraft Pulp* (BEKP), tratando-se de um dos produtores mais eficientes da Europa, tendo uma capacidade anual de cerca de 700 mil toneladas. A Celbi conta com cerca de 235 colaboradores, e os seus principais clientes são indústrias transformadoras, encontrando-se estes espalhados por 3 continentes e mais de 20 países, sendo que o principal mercado para fibras celulósicas branqueadas está na Europa. Em comparação com outras pastas concorrentes, produzidas a partir de outras espécies de eucalipto, a pasta da Celbi distingue-se pelas suas

especificidades de resistência, boa opacidade e elevada porosidade (Celbi - Quem Somos, 2025).

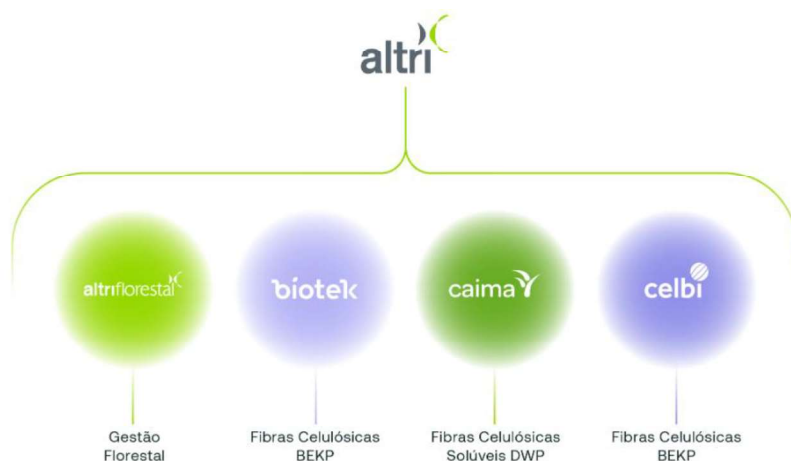


Figura 3.2 - Empresas constituintes do grupo Alri [retirado de *Empresas Do Grupo* (Celbi, 2025)]

3.2 Missão, visão e valores

A Missão da Celbi, como referido anteriormente, reflete o seu propósito fundamental: fornecer pasta de eucalipto de forma económica e ambientalmente sustentável, atendendo às exigências e expectativas dos seus clientes.

Quanto à Visão, a Celbi pretende ser um dos melhores, se não o melhor, produtor europeu de pasta de fibra curta. A empresa quer construir uma imagem sólida no mercado e na comunidade em geral, destacando-se pela satisfação dos seus clientes, o que garante a sua fidelização e permite consolidar uma reputação de excelência no setor da pasta de papel.

Os Valores da Celbi são princípios que orientam a sua atenção e definem a sua cultura organizacional. Estes valores incluem:

- Orientação para os resultados e para a Qualidade Total;
- Focalização nas necessidades e expectativas dos clientes;
- Empenho na defesa do meio ambiente;
- Sentido de responsabilidade;
- Espírito de abertura face aos desafios e à mudança;
- Versatilidade e polivalência profissional;
- Ambição para melhorar, inovar e estar na vanguarda;
- Descentralização e responsabilização;
- Informalidade no relacionamento pessoal (Celbi - Apresentação Empresa, 2025).

Estes Valores orientam as decisões e as ações da Celbi, contribuindo para o seu sucesso e crescimento contínuo.

3.3 Processos de fabrico

A Figura 3.3 representa, de forma simplificada, o diagrama geral dos processos que serão descritos da fábrica da Celbi.

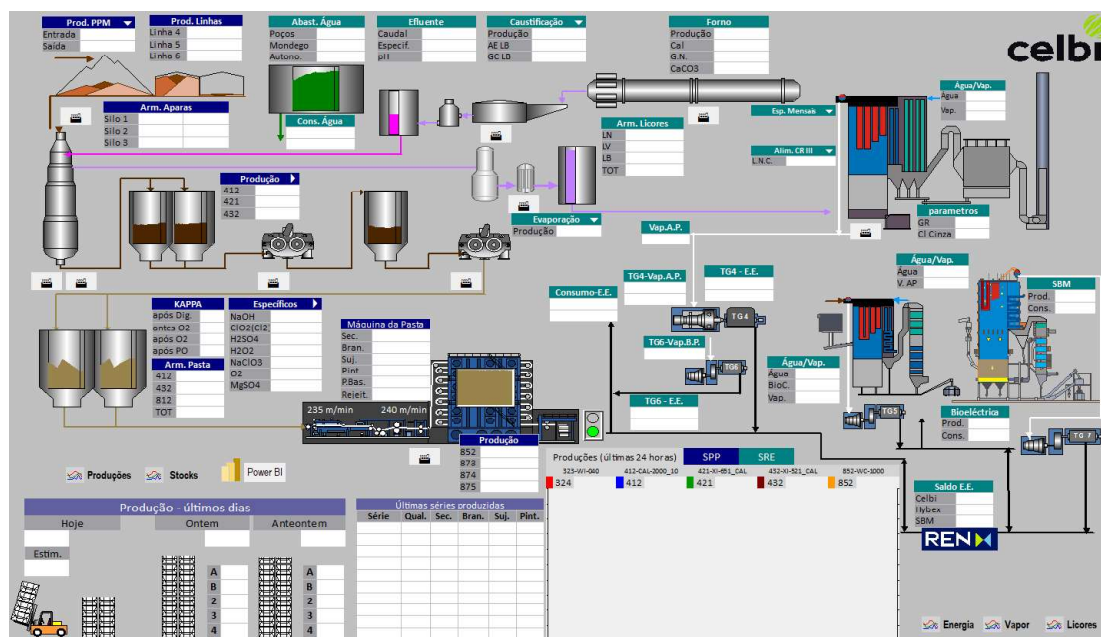


Figura 3.3 - Diagrama geral do processo de fabrico da fábrica (retirado do MOPS)

3.3.1 Processo de produção de pasta

A produção de celulose é um processo industrial realizado em várias fases, com o objetivo de extrair as fibras naturais de celulose presentes na madeira de eucalipto. Este processo envolve um ciclo complexo, no qual é determinante o controlo analítico, efetuado através de análises operacionais, análises laboratoriais e medições, em linha de toda a instrumentação. Assim, a produção de pasta de papel divide-se em sete extensos processos: receção das madeiras, descasque e destroçamento, cozimento da madeira, lavagem da pasta, branqueamento da pasta, secagem da pasta e, finalmente, o agrupamento e armazenamento de pasta em fardos (Figura 3.4) (Celbi - Produção de Pasta, 2025).

A madeira chega à fábrica sob a forma de rolarias de eucalipto, designadas por toros, com ou sem casca, ou na forma de estilhas de eucalipto, designadas por aparas. A madeira com casca é descascada, e as cascas removidas dos toros são transportadas para um triturador de casca, sendo enviadas para os silos de biomassa, para a alimentação da caldeira de produção de vapor. Posteriormente ao processo de descasque, as rolarias já sem casca, são destrocadas em aparas e armazenadas em pilhas.

De seguida, dá-se um processo de crivagem, efetuado em três crivos combinados em paralelo, para a remoção de impurezas. Após esse processo, as aparas são alimentadas, com licor traçado (um conjunto de licor branco com licor negro), e

vapor, num digestor contínuo a temperaturas superiores a 145 °C. As substâncias alcalinas do licor dissolvem a lenhina, uma substância responsável pela agregação das fibras, permitindo a degradação destas, resultando na chamada pasta crua e no licor negro fraco. A base de qualquer processo químico de produção é a separação da lenhina da celulose. O licor negro fraco proveniente do digestor, será recuperado num processo cíclico alcalino, denominado por “processo *Kraft*”, transformando o licor negro fraco em licor branco.

A pasta crua resultante do cozimento no digestor é lavada, para remover os produtos residuais orgânicos e inorgânicos provenientes do processo de cozimento. Após esta lavagem, a pasta crua é sujeita a operações de crivagem, de forma a remover partículas não cozidas e outras impurezas. No fim destas operações, a pasta crua é sujeita a um pré-branqueamento com oxigénio, do qual resulta uma pasta semi-branqueada, de tonalidade amarelada, que é enviada para a instalação de branqueamento.

À entrada da instalação de branqueamento, a pasta contém ainda compostos residuais, resultantes da decomposição da lenhina, que são gradualmente removidos na sua totalidade através de reações químicas, com agentes branqueadores como o oxigénio, o peróxido de hidrogénio (água oxigenada) e o dióxido de cloro. No final desta fase, a pasta apresenta-se sob a forma de uma suspensão espessa com uma brancura aproximada de 89%.

Na secagem da pasta, a suspensão da pasta branqueada é submetida a uma crivagem e depuração final após a unidade de Branqueamento e antes da máquina de secagem. A formação da folha na máquina de secagem é iniciada e consolidado na mesa de formação, com o auxílio de uma tela dupla e por ação de vácuo, onde é retirada grande parte da água. Posteriormente, no secador, a pasta é prensada para remoção adicional de água por ação dos rolos aquecidos com vapor e secagem adicional, com ar seco, onde a secura vai aumentando progressivamente, formando assim a folha final, com cerca de 10% de humidade.

A folha que sai da máquina de secagem é cortada em pequenas folhas, que serão empilhadas em fardos de 250 kg cada. Após serem embalados em papel adequado e atados com fios de arame, os fardos são agrupados em conjuntos de 8, denominados fardões de 2 toneladas cada, nas linhas de acabamento, que seguem para o armazém da pasta, de onde serão posteriormente carregados em camiões que os transportam para o porto comercial, a partir do qual são exportados, principalmente para países da União Europeia. Apenas uma pequena parte da produção é transportada por camiões diretamente para os clientes.

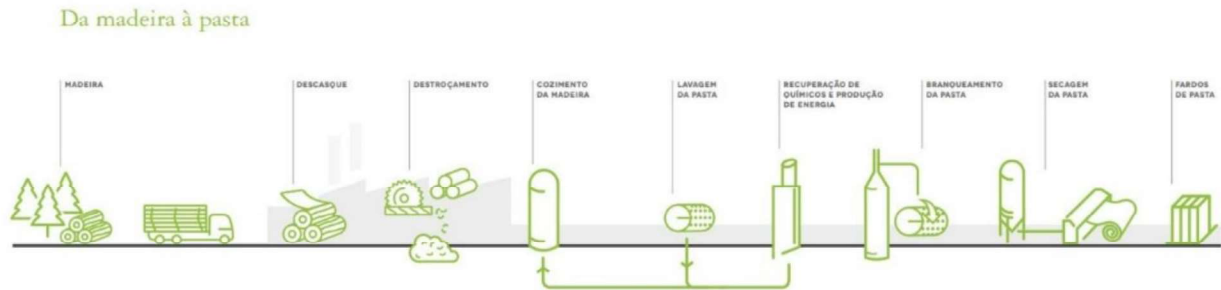


Figura 3.4 - Processo de produção de pasta

3.3.2 Processo de recuperação “kraft”

O processo de recuperação “Kraft” (Figura 3.5) dá-se início na fase de evaporação, onde o licor negro fraco proveniente do digestor, é concentrado num conjunto de evaporadores enriquecendo o seu teor em sólidos, através da alimentação de vapor de maneira a aquecê-lo, assim o licor transforma-se num biocombustível espesso, que é queimado na caldeira de recuperação.

Na caldeira de recuperação, adiciona-se sulfato de sódio ao licor, de forma a compensar perdas existentes durante o processo, originando várias reações. Deste processo resulta a componente inorgânica do licor, designado por *smelt*. A combustão da parte orgânica do licor gera calor e, conseqüentemente, vapor sobreaquecido que é encaminhado para a turbina para produzir energia e vapor para o processo.

Proveniente da etapa da caustificação, o *smelt* entra num tanque de dissolução onde é adicionada licor branco fraco originando assim o licor verde. É através do processo de caustificação que se consegue recuperar o principal componente envolvido no cozimento de madeira, o hidróxido de sódio. Este processo tem como objetivo converter o licor verde em licor branco com a menor quantidade de cal possível. De uma forma mais simplificada a caustificação funciona como um filtro que remove os elementos não processuais.

Do processo de conceção de licor verde originam-se no tanque de dissolução os resíduos do licor verde, designados de *dregs*. Estes resíduos impedem a correta filtração da lama da cal tendo, por isso, que ser eliminado, para isso é encaminhado para um lavador onde é separado por filtração. O resultado desta filtração é o licor verde clarificado, ou seja, isento de *dregs*, que procede para um apagador onde é adicionada cal viva, proveniente do forno da cal, formando hidróxido de cálcio. Desta reação surge um resíduo inerte, denominado por *grits*, que é removido do processo por um arrastador de fundo.

A mistura de cal e hidróxido de cálcio é então encaminhada para uma série de caustificadores, que com tempo de retenção suficiente para que ocorra a caustificação, resulta o licor branco juntamente com carboneto de cálcio. Assim esta mistura é filtrada, separando o licor branco do resíduo de lamas de cal, que será

novamente reintroduzido no processo de cozimento. Enquanto o resíduo de lamas de cal é lavado, dando origem ao licor branco fraco utilizado na dissolução do *smelt*. A parte sólida é enviada para o forno da cal onde é queimada a altas temperaturas dando origem à cal viva.

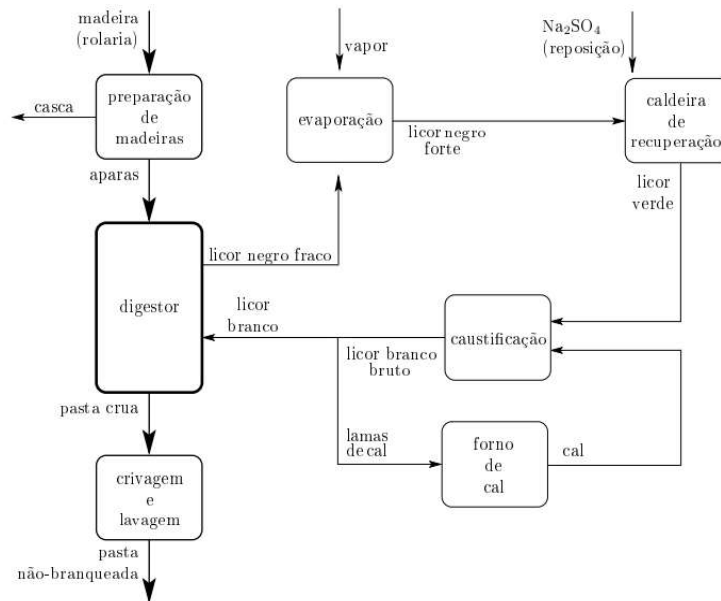


Figura 3.5 - Processo *kraft*

3.3.3 Produção de energia

Na Celbi, está instalada uma central termoelétrica, a biomassa florestal, detida igualmente pela Greenvolt, pelo Grupo Altri e pela EDP Produção Bioelétrica. Este processo é semelhante ao da caldeira de recuperação, onde a biomassa resultante do descasque de madeira e da limpeza de matas é queimada para gerar vapor de alta pressão. A Celbi utiliza esse vapor para produzir toda a energia elétrica necessária para a sua atividade de produção de pasta de papel, através de cogeração. Neste processo, são aproveitados componentes vegetais com propriedades combustíveis, que não são utilizadas na produção de pasta de papel, e queimados na caldeira de recuperação para gerar o vapor necessário.

O vapor de alta pressão (60 a 80 bar) e temperatura (450 a 460 °C) produzido na caldeira é expandido numa turbina de vapor, sendo posteriormente utilizado no processo a média pressão (15 bar) ou a baixa pressão (4 a 5 bar). A energia libertada através da expansão de vapor na turbina é convertida em energia elétrica, a qual, em regime normal de operação, satisfaz as necessidades da fábrica. O sistema interno de distribuição de energia elétrica em média tensão da fábrica está interligado em paralelo permanente com a rede elétrica nacional, permitindo trocas de energia, compra e venda, com a mesma.

A termoelétrica da Celbi, que integra a caldeira de recuperação e o turbogerador, está licenciada com o estatuto de cogrador e utiliza fundamentalmente biomassa como combustível. Com a produção de energia elétrica a Celbi torna-se autossuficiente a

nível energético. Conjuntamente, estes dois processos produzem energia suficiente para alimentar uma cidade com 150 mil habitantes (Celbi - Energia, 2025).

3.3.4 Tratamento de águas residuais

Para além da produção, as instalações da Celbi incluem redes específicas para o tratamento dos materiais gerados pela produção de pasta e energia, com o objetivo de garantir o cumprimento das políticas ambientais e regulamentações de sustentabilidade. Assim, existem três sistemas distintos de esgoto interno: efluente ácido, efluente alcalino, efluente doméstico e ainda águas pluviais. Todos os efluentes são sujeitos a um tratamento primário onde são removidos os sólidos suspensos em dois sedimentadores. Uma parte destes resíduos é utilizada para a produção de papéis e cartão, sendo posteriormente enviada para o exterior como matéria-prima.

Os efluentes provenientes deste sedimentadores são misturados e enviados para o tratamento secundário, antes de serem descarregados e difundidos no Oceano Atlântico, a 1500 metros da costa, por meio de um emissário submarino. As lamas geradas no tratamento são encaminhadas para a estação de compostagem de resíduos ou são utilizadas em outros processos de valorização.

3.3.5 Produto final

A pasta branqueada é um material versátil, utilizado em diversos produtos que atendem a diferentes necessidades de utilização e conforto. Os principais derivados da pasta, como o papel e o cartão, são amplamente usados para fabricar e proteger produtos do nosso cotidiano, seja no trabalho ou em casa, como materiais de limpeza e higiene, embalagens e produtos de impressão e escrita.

As características da pasta e o tipo de utilização que lhe é dada dependem da natureza das espécies florestais e das propriedades físico-químicas e morfológicas das fibras. As fibras de eucalipto, em particular, oferecem vantagens na produção de papéis finos e papéis de impressão.

O papel fabricado com pasta de eucalipto destaca-se pela sua qualidade, resistência e capacidade de reprodução de cores, sendo ideal para revistas e publicações semelhantes. Outros produtos nos quais a pasta de eucalipto é vulgarmente aplicada são os laminados decorativos, as embalagens de produtos líquidos, os guardanapos de papel e o papel de fotografia.

3.4 Organização da empresa

A Celbi é uma empresa com um forte compromisso em garantir a disponibilidade, a segurança e a redução de riscos. A função da Manutenção é essencial para um bom funcionamento das operações diárias e, para isso, a empresa conta com a Direção de

Manutenção (DM), que abrange todos os tipos de manutenção na organização. A principal função da DM é assegurar a operação plena dos equipamentos da empresa, assegurando a sua continuidade e eficiência. Na Figura 3.6, está representada a estrutura da fábrica.

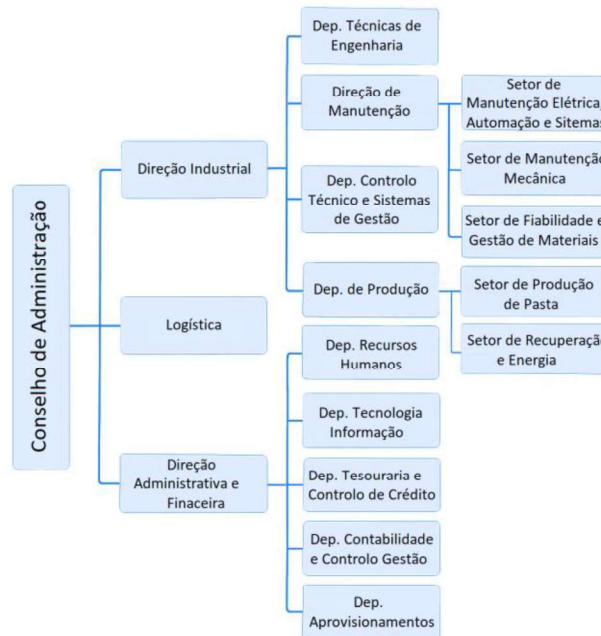


Figura 3.6 - Organograma estrutural da empresa

Assim, a Direção de Manutenção centra as suas responsabilidades na manutenção, na programação e na execução de trabalhos, como objetivo de garantir o funcionamento adequado dos equipamentos e das instalações. Entre as suas funções, destaca-se:

- Garantir o nível de operacionalidade das instalações e a estabilidade do processo produtivo, assegurando que os requisitos de volume e qualidade sejam atendidos, ao mesmo tempo em que se otimiza os recursos e racionalizam os custos;
- Gerir, planear, coordenar e controlar as atividades de manutenção, visando cumprir os seguintes objetivos:
 - Aumentar a fiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos e das instalações;
 - Controlar custos e melhorar a produtividade;
 - Proporcionar formação contínua aos colaboradores;
 - Assegurar o cumprimento das normas de Saúde, Ambiente e Segurança;
 - Cumprir com os requisitos dos Planos de Operação Metrológica.
- Participar ativamente na definição das estratégias, objetivos e programas de desenvolvimento da empresa;

- Executar as tarefas e responsabilidades atribuídas pela documentação normativa do Sistema Integrado de Gestão.

A DM é composto por três setores principais, com objetivos específicos em cada área: o SMEAS, o SMM e o SFGM. Na Figura 3.7 está representada a divisão da Direção de Manutenção.

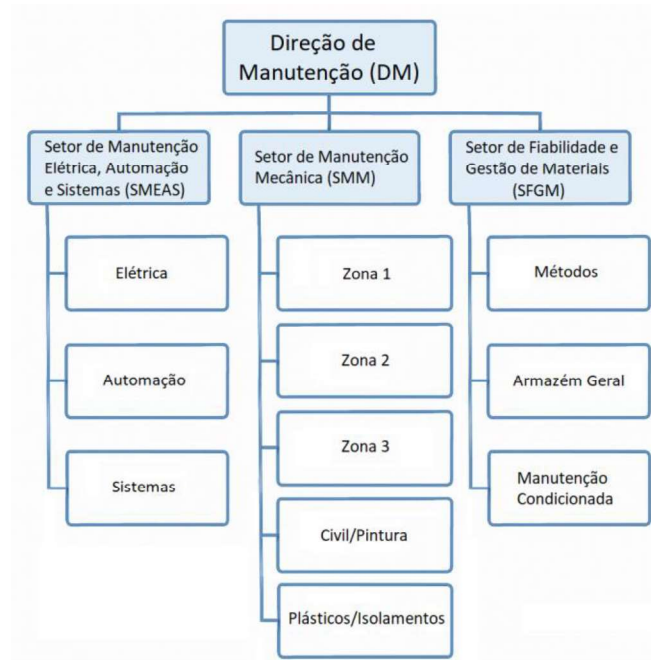


Figura 3.7 - Divisão da direção de manutenção (DM)

1. Setor de Manutenção Elétrica, Automação e Sistemas (SMEAS): Foca na manutenção dos equipamentos elétricos, de medição e controlo, garantindo a fiabilidade e a disponibilidade operacional, além da realização de Operações de Controlo Metrológico para garantir a precisão das medições;
2. Setor de Manutenção Mecânica (SMM): Responsável pela manutenção das instalações fabris e os seus equipamentos mecânicos, com foco na maximização do tempo de disponibilidade operacional;
3. Setor de Fiabilidade e Gestão de Materiais (SFGM): Atua na manutenção condicionada e na operacionalidade do sistema de gestão de manutenção, além da gestão de materiais, procurando a otimização do processo e a prevenção de falhas.

O SMEAS é dividido em três grupos, Elétrica, Automação e Sistemas, a fim de facilitar o trabalho do setor. O SMM, por sua vez, organiza-se em três grupos correspondentes às zonas da fábrica (Zona 1, Zona 2 e Zona 3), além dos grupos Civil/Pintura e Plásticos/Isolamentos. Uma descrição mais detalhada das zonas e das suas funções será apresentada no Capítulo 4.1.

Estes setores são independentes na preparação, programação e execução de tarefas. No entanto, em casos que envolvem ambos os setores, um deles assume a liderança na execução, em estreita colaboração com o outro. Estes setores têm um papel fundamental na empresa, uma vez que a maioria dos equipamentos está inserida nestes dois setores.

O SFGM é responsável pela gestão do Armazém Geral, onde são armazenadas as peças essenciais para as manutenções preventivas e corretivas, além de outros tipos de peças, equipamentos e artigos não associados à manutenção. Neste setor faz-se a divisão dos Métodos e a divisão da Manutenção Condicionada. Na divisão dos Métodos são realizados estudos detalhados dos equipamentos, com o foco na sua análise e na identificação das peças de reposição. Essas peças são registadas no sistema de gestão de manutenção, no software utilizado pelo Grupo Altri designado por “*MAXIMO*”. Além disso, esta divisão também é responsável pela elaboração de Planos de Trabalho e Planos de Manutenção, dado o conhecimento mais pormenorizado dos equipamentos. Relativamente à divisão da Manutenção Condicionada, as funções são asseguradas por empresas subcontratadas: a SKF, responsável pela análise de vibrações, e a GALP, responsável pela lubrificação.

Portanto, a manutenção da Celbi divide-se principalmente em corretiva e preventiva.

A manutenção corretiva está associada a Ordens de Execução (OE) urgentes, onde exija uma intervenção imediata para evitar impactos negativos progressivos na produção ou com início dentro de 24 horas. Aplica-se a equipamentos cuja avaria não afeta diretamente a produção, mas cuja reparação é essencial para garantir o bom funcionamento de determinadas operações.

Quanto à manutenção preventiva, esta é realizada em intervalos de tempo definidos, com base em critérios específicos, através de rotinas periódicas de verificação, beneficiação e calibração dos equipamentos, com o objetivo de minimizar a probabilidade de falhas e reduzir os desgastes dos equipamentos, dividindo-se em Condicionada, que abrange a manutenção contínua, programada e a pedido e em Sistemática, que é realizada de forma periódica, com base em, intervalos e tempo estabelecidos previamente.

4 ENQUADRAMENTO FUNCIONAL DA CELBI S.A.

No decorrer deste capítulo, será apresentado o Enquadramento da Fábrica, nomeadamente a Organização Funcional das Instalações da Empresa, seja pela organização por zonas, seja pela designação da localização dos equipamentos. Serão também abordados os processos de Manutenção Condicionada, o Planeamento de Manutenção, a designação de Paragem Programada e Paragem Anual, bem como os tipos de Prioridades. Por fim, serão explicadas as duas Ferramentas de Apoio à Manutenção e ainda os Equipamentos Recuperáveis e Rotáveis.

4.1 Organização funcional das instalações

Segundo José Cabral, a organização funcional consiste na especificação da função de um determinado equipamento ou conjunto de equipamentos na unidade industrial. Neste sentido, a Celbi S.A. encontra-se dividida em três zonas distintas, denominadas de Zona 1, Zona 2 e Zona 3, que por sua vez estão organizadas em áreas com uma determinada codificação.

A Zona 1 constitui uma zona cujas áreas apoiam direta e indiretamente toda a fábrica, é uma zona onde estão localizadas as áreas que servem de auxílio à produção de pasta de papel, como a caldeira de recuperação e biomassa, o forno da cal, a caustificação, os turbogeradores, a evaporação, as águas e efluentes, entre outros.

A Zona 2 destina-se ao parque de madeiras, ou seja, às áreas de armazenagem de madeiras e aparas e ainda às áreas de preparação das madeiras, descasque e destroçamento das madeiras.

A Zona 3 abrange as áreas destinadas à produção de pasta de papel, desde o digestor até a máquina de secagem.

O Anexo A apresenta todas as áreas distintas da fábrica, juntamente com os respetivos códigos de localização atribuídos. Para além disso, especifica a divisão dessas áreas pelas zonas correspondentes.

Para identificação dos equipamentos, a Celbi utiliza uma codificação interna designada de “Localização”, que se apresenta da seguinte forma: <I>-<II>-<III>, onde:

- I. Identifica a área;
- II. Identifica o setor;
- III. Identifica o equipamento.

É importante referir que, para cada setor, existem pequenas variações.

No primeiro ponto, <I>, a identificação é igual para todos os setores, ou seja, identifica-se a área.

No segundo ponto, <II>, a codificação depende de qual setor se está a falar. Caso se trate do setor do SMEAS, da Instrumentação ou da Elétrica, o segundo ponto identifica o tipo de equipamento, onde para o caso da Instrumentação envolve válvulas, electroválvulas, medidores de caudais, entre outros, já para o caso da Elétrica envolve motores elétricos, moto-redutores, geradores, gavetas, entre outros. Se o equipamento pertencer ao setor do SMM, o segundo ponto permanece vazio.

Por fim, o terceiro ponto, <III> representa o número sequencial do equipamento dentro de cada área, em todos os setores.

A título exemplificativo e de forma a esclarecer o que foi referido, apresenta-se um exemplo de uma localização de cada setor da manutenção da fábrica.

- SMEAS
 - Instrumentação: <área>-<tipo de equipamento>-<número sequencial de cada área>
 - Exemplo: 131-VS-0921 - Válvula de segurança do tanque de ar comprimido.
 - Elétrica: <área>-<tipo de equipamento>-<número sequencial de cada área>
 - Exemplo: E873-MR-0103.01 - Moto-redutor do transportador de distribuição do acionamento da linha de acabamento 3.
- SMM
 - Mecânica: <área>- -<número sequencial de cada área>
 - Exemplo: M412- -0304.50 - Bomba de aparas.

O sistema de codificação de equipamentos seguido pela Celbi é semelhante ao proposto por José Cabral, em 2006, com algumas alterações. Cada localização principal, identificada como “Pai”, possui localizações secundárias, denominadas “Filhos”, que correspondem aos equipamentos existentes em cada área e setor. Assim, cria-se uma estrutura hierárquica que organiza os equipamentos da fábrica, associando-os de forma sequencial e clara. Importante referir que as localizações tanto podem pertencer ao setor SMM como ao setor SMEAS.

Importa referir que, na proposta de José Cabral, existe um nível hierárquico adicional, designado por “Netos”, o qual não é utilizado na estrutura atual da Celbi. Este nível é atribuído a componentes mais específicos de um equipamento. Por exemplo, considerando que uma localização “Pai” corresponde a um motor, as localizações “Filho” poderiam ser o cilindro nº1, o cilindro nº2, o turbocompressor, a bomba de óleo, entre outros. Por sua vez, o nível “Neto” detalha ainda mais os componentes dos “Filhos”, como a bomba injetora, o injetor nº1, o injetor nº2, etc. Desta forma, a proposta de José Cabral permite um grau de detalhe hierárquico mais profundo, facilitando a identificação e gestão de componentes dentro de um sistema técnicos complexo.

Um excelente exemplo para a demonstração as localizações “Filhos” é a localização 852- -0520 (localização “Pai”), que representa o feltro da 1ª prensa da mesa

formadora da máquina de pasta, tendo esta um total de 9 localizações “Filhos”, codificadas segundo a estrutura da mecânica.

- M852- -0520.50 - Feltro da 1ª prensa;
- M852- -0520.51 - Rolo tensor do feltro da 1ª prensa;
- M852- -0520.52 - Rolo guia do feltro da 1ª prensa;
- M852- -0520.53 - Rolo de apoio nº1 do feltro da 1ª prensa;
- M852- -0520.54 - Feltro da 1ª prensa (sistema de esticamento);

Numa empresa de grandes dimensões é imprescindível a existência de um processo de identificação concebido, como que se de uma linguagem se tratasse, de forma a facilitar a comunicação entre todos os colaboradores dentro da unidade fabril.

Na Figura 4.1 é demonstrado, de uma forma simplificada, o diagrama da mesa formadora da máquina da pasta e por consequentemente o processo de fabrico da máquina da pasta. Já na Figura 4.2, está ilustre a mesa formadora da instalação.

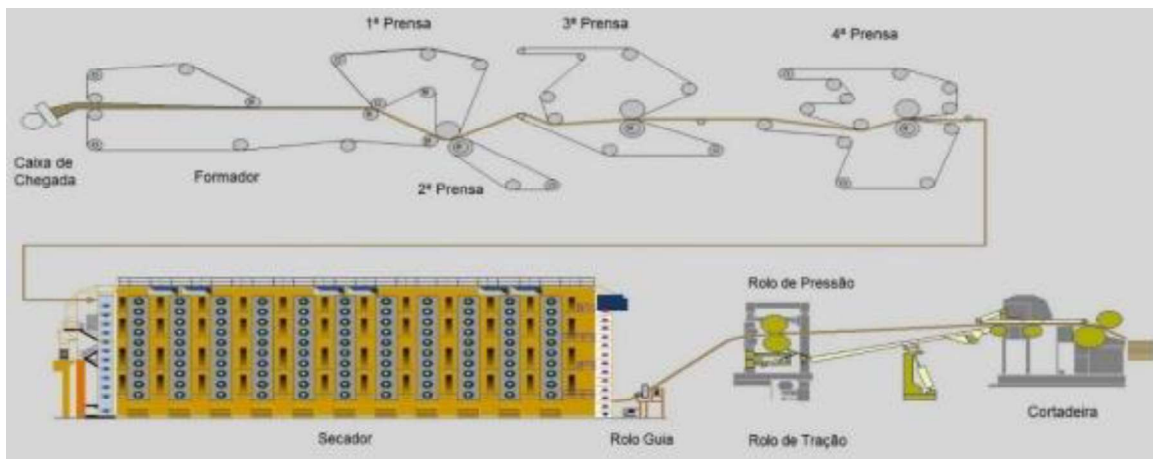


Figura 4.1 - Processo de fabrico na máquina da pasta



Figura 4.2 - Prensas da máquina da pasta

4.2 Manutenção condicionada

Na Celbi, a manutenção condicionada é um processo essencial para garantir a continuidade das operações e a otimização da vida útil dos equipamentos. Esta manutenção é realizada principalmente pela empresa subcontratada SKF Group, que se responsabiliza por monitorizar o funcionamento dos equipamentos através de métodos de diagnóstico avançados. Técnicas como termografia, medições de temperatura, ultrassons e análise de ruídos são algumas das ferramentas utilizadas para realizar um acompanhamento detalhado da vida dos equipamentos.

O processo de manutenção segue um cronograma rigoroso, com duração aproximada de 45 dias, durante os quais são realizadas inspeções aos equipamentos críticos. As análises e os dados obtido são armazenados numa base de dados, permitindo comparar os resultados atuais com os anteriores e identificar tendências que possam indicar falhas ou anomalias, garantindo assim um controlo ativo. Com isso, é possível antecipar problemas e programar intervenções, minimizando impactos na produção.

A título de exemplo disso são as bombas de processo e os redutores, que possuem conjuntos de reserva completos. Quando um equipamento apresenta falha, os conjuntos de reserva são rapidamente instalados, garantindo a continuidade da produção com o mínimo de tempo de inatividade.

A manutenção condicionada na empresa é composta por diversos processos que trabalham de forma integrada para monitorizar e manter o bom funcionamento dos equipamentos. Na Figura 4.3 pode-se verificar os diferentes processos da manutenção condicionada da Celbi.

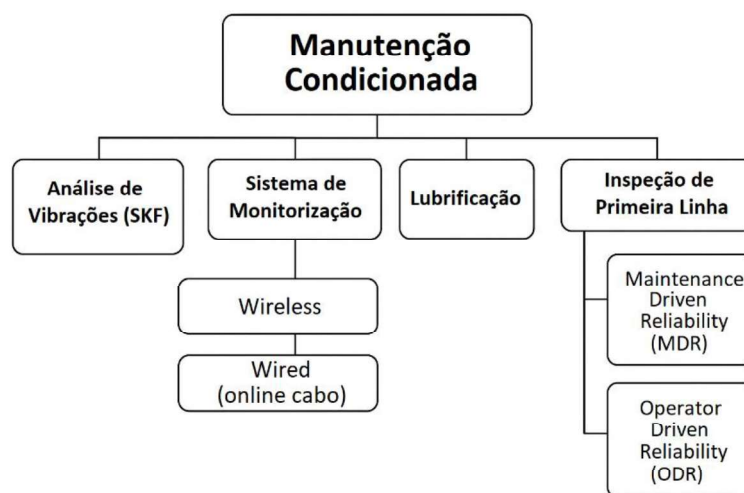


Figura 4.3 - Manutenção condicionada na empresa

A análise de vibrações, realizada pela SKF, é uma técnica fundamental para monitorizar os estados dos equipamentos rotativos, como bombas, turbinas e compressores. Todos os equipamentos geram vibrações, e a variação dessas vibrações pode indicar problemas internos, como desequilíbrio ou desalinhamento,

ou ainda falhas em componentes críticos, como rolamentos e engrenagens. A monitorização contínua permite a deteção precoce de falhas, possibilitando intervenções antes que o problema se agrave.

A monitorização dos equipamentos pode ser realizada de duas formas. A primeira forma é a *wireless*, onde a leitura das condições do equipamento é feita apenas em momentos específicos, quando são detetadas diferenças significativas nos parâmetros. A segunda forma é a *wired*, que envolve a leitura contínua e permite a monitorização dos parâmetros de desempenho em tempo real, gerando dados constantes sobre o estado do equipamento.

A lubrificação correta dos equipamentos é vital para reduzir o desgaste, aumentando a vida útil dos componentes. A gestão da lubrificação inclui a monitorização da qualidade do óleo, evitando contaminações e garantindo que os lubrificantes cumpram as suas funções de forma eficaz.

As inspeções de primeira linha são realizadas pelas equipas responsáveis por monitorizar o estado físico dos equipamentos. Estas inspeções incluem as realizadas pelas equipas operacionais da manutenção (MDR - *Maintenance Driven Reliability*, ou Fiabilidade Centrada na Manutenção), elétrica, que se concentram nos componentes elétricos e circuitos, e mecânica, que se focam na condição dos componentes mecânicos, onde verificam parâmetros como ruídos e temperatura. Incluem também as equipas da manutenção condicionada, seja a SKF, responsável pela análise de vibrações, ou o técnico da lubrificação, responsável pela análise dos lubrificantes.

Além disso, as inspeções também podem ser realizadas pelos operadores (ODR - *Operator Driven Reliability*, ou Fiabilidade Centrada na Operação), por exemplo, os operadores das linhas de madeira, com o apoio da SKF, se necessário, com o foco na verificação das linhas de preparação de madeiras (linhas 5 e 6). Podem ainda ser realizadas pela equipa de projeto, onde o foco será nos circuitos e projetos dos equipamentos, garantido que o design e a implementação sejam adequadas às necessidades operacionais.

Os principais objetivos da manutenção condicionada na Celbi incluem:

1. Aumento da disponibilidade da instalação;

Através da monitorização contínua e da intervenção antecipada, busca-se aumentar a disponibilidade dos equipamentos e reduzir o tempo de inatividade não programada.

2. Redução de custos de manutenção;

A deteção precoce de falhas e a programação adequada de intervenções ajudam a reduzir custos com a manutenção corretiva.

3. Redução de custos com componentes de substituição;

A manutenção condicionada permite um melhor controlo sobre o desgaste dos componentes, evitando a substituição prematura de peças ainda em boas condições.

4. Criação de históricos de intervenção para estimativa de custos;

A recolha e o armazenamento de dados permitem criar um histórico detalhado de intervenções, o que ajuda a prever custos futuros com base nas condições reais dos equipamentos, independentemente da sua vida útil.

Com estes processos, a manutenção condicionada na Celbi permite que a empresa maximize a eficiência das operações, reduza custos e prolongue a vida útil dos equipamentos, sem comprometer a produção. Além disso, a integração de tecnologias avançadas e a análise contínua contribuem para a melhoria constante da estratégia de manutenção na fábrica.

4.3 Planeamento de manutenção

O Planeamento da Manutenção na Celbi é realizado por colaboradores dos três setores mencionados anteriormente, SMEAS, SMM e SFGM. No Anexo B pode-se verificar o principal documento utilizado no setor da manutenção, a Ordem de Execução (OE), que é essencial para a gestão de toda a manutenção da fábrica. A OE serve como interface entre o preparador e o chefe de equipa e o executante. Em alguns casos, pode ser necessário criar uma Requisição de Trabalho (RT), Anexo C, que será encaminhada ao preparador da zona e, posteriormente, resultará numa Ordem de Execução. No entanto, para trabalhos programados, as ordens são geradas diretamente de acordo com a periodicidade definida para cada equipamento, sem a necessidade de uma RT.

Os trabalhos programados podem ter duas origens principais, ou são trabalhos de inspeções periódicas a equipamentos que exijam acompanhamento mais frequente ou então trabalhos de reparação ou substituição de equipamentos que apresentam sinais de degradação ou que estão prestes a falhar. Estes tipos de trabalhos são realizados conforme uma ordem de prioridade, determinada pelo estado de cada equipamento, sabendo que, a cada 15 dias, haverá trabalhos programada para cada determinado equipamento.

Cada OE contém campos que devem ser preenchidos corretamente para garantir que a intervenção seja executada conforme as necessidades, tais como:

- Identificação do equipamento;
- Descrição do procedimento de trabalho a ser executado;
- Identificação dos matérias e ferramentas necessárias, além das reservas no Armazém Geral;
- Disponibilização da documentação relevante para a execução (como manuais dos equipamentos, os desenhos dos equipamentos, entre outros);
- Folhas de consignação da instalação, que devem ser assinadas pelo responsável pela execução e pelo responsável pela instalação, tanto antes da

execução do trabalho quanto no momento da devolução da instalação à operação;

- Folhas para a montagem de andaimes (caso necessário).

Para além destes campos, existem campos de preenchimento obrigatório que determinam o tipo de trabalho a ser realizado e a sua respetiva prioridade. O Anexo D ilustra a sequência de passos pelos quais uma OE passa, bem como as opções dos campos de preenchimento obrigatório.

4.3.1 Paragens programadas

Em processos indústrias complexos e de operação contínua, como os da Celbi, é impossível realizar manutenção, seja ela preventiva ou corretiva, em certos equipamentos sem que estes sejam parados e sem garantir condições adequadas de segurança. Por isso, a Celbi realiza Paragens Programadas (PP), ou seja, paragens parciais da fábrica, que podem ocorrer, em média, durante 24 horas, dependendo dos trabalhos programados.

Estas paragens são seccionadas, ou seja, uma paragem da máquina da pasta, não implica a paragem de toda a instalação a montante. As instalações vão ficando fora de serviço de forma intervalada no tempo, normalmente até o digestor. A paragem do digestor resulta na interrupção da produção de licor negro, o que, por sua vez, causa a paragem da evaporação e a queima de gás natural na caldeira de recuperação. Assim as áreas que geralmente sofrem intervenções de manutenção durante uma PP são:

- 812 e 852 – Depuração de pasta e máquina de secagem. Estas áreas têm a maior pressão para realização de trabalhos de manutenção uma vez que dita diretamente a produção de pasta;
- 412, 421, 432, - Áreas de digestor, lavagem e branqueamento. Estas áreas estão normalmente disponíveis cerca de metade do tempo das áreas anteriores;
- 452, 463, 471, 482 – Evaporação, caldeira de recuperação, caustificação e forno da cal. Com a falta de licor negro do digestor, há a obrigatoriedade de parar a evaporação e as instalações associadas na caldeira;

As restantes áreas, numa PP normal, não param. A preparação de madeiras possui paragens programadas de forma intervalada, com as restantes e entre as linhas (5 e 6) e podem ocorrer paragens das restantes instalações, por exemplo, para a lavagem da caldeira, tendo estas uma duração maior.

4.3.2 Paragens anuais

A Paragem Anual (PA) é uma paragem que realiza-se a cada 16 meses, com uma duração média de uma a duas semanas, no qual a produção é totalmente

interrompida para a realização de trabalhos de manutenção preventiva e corretiva em diversas áreas da fábrica. Durante uma PA, são realizados os seguintes tipos de trabalhos:

- Trabalhos de rotina, ou seja, tarefas de manutenção preventiva que, por razões processuais, só podem ser realizadas durante a PA. Exemplos incluem a limpeza e troca de filtros das unidades hidráulicas e a limpeza das caixas de campo;
- Trabalhos adiados ao longo do ano, que exijam mais tempo ou condições processuais específicas que não foram alcançadas durante Paragens Programadas (PP), ou que foram adiadas devido à falta de material.

A preparação de uma PA deve ser feita de forma estruturada e ao longo do ano, devido ao volume de trabalho envolvido. Isto inclui tanto a preparação de tarefas pelos colaboradores internos quanto o envolvimento de diversas empresas prestadoras de serviços. Além disso, envolve consultas ao mercado e apresentações dos trabalhos aos empreiteiros. A compra de materiais, a montagem de plataformas de acesso e a coordenação das atividades com a Produção e os outros setores de manutenção também fazem parte da preparação.

4.3.3 Prioridades 1 e 2

Os trabalhos de prioridade 1 e 2 são, em geral, de carácter não urgente, sendo principalmente preventivos ou destinados a melhorias. A prioridade 1 corresponde a trabalhos que devem ser iniciados dentro de um mês, enquanto a prioridade 2 refere-se a trabalhos que precisam de ser iniciados dentro de uma semana. Estes trabalhos são realizados por técnicos e podem ser ou não solicitados pela Produção. Incluem as rotinas dos vários setores, SMM e SMEAS, que são realizados com uma frequência específica, dependendo do equipamento e das necessidades da Produção. Alguns exemplos de trabalhos realizados incluem:

- Analisadores, limpeza geral do sistema de recolha de amostras e calibração dos analisadores de diversos indicadores processuais;
- Recolha de amostras de efluente final, beneficiação geral do colhedor automático de amostrar do efluente que descarrega no mar;
- Sistemas de lubrificação centralizada, identificação e eliminação de fugas de óleo ou massa e verificação da eficácia do sistema de lubrificação;
- Trabalhos de oficina, reparação de equipamentos retirados das instalações por avaria ou preventivamente, com a devolução dos mesmos ao armazém geral;
- Planos de Operações Metrológicas (POM), consistem na aferição e correção de medidas presentes em toda a instalação, podendo estas ser de dois tipos:
 - Formais: Realizadas com a utilização de equipamentos certificados, sendo alvo de auditorias externas;

- Informais: Realizadas a pedido da Produção apenas para verificação e correção de valores para efeitos processuais, não sendo controlados por entidades externas.

A gestão destes trabalhos é responsabilidade de cada setor, em coordenação com a Produção, e pode estar sujeita a alterações. A execução correta destas tarefas é fundamental para a redução das intervenções corretivas, pois um acompanhamento regular e adequada dos equipamentos contribui para a prevenção de falhas.

4.3.4 Prioridades 3 e 4

Os trabalhos de prioridade 3 e 4 são de carácter urgente e referem-se, geralmente, à resolução de avarias que ocorrem no dia a dia, tanto durante o horário diurno quanto nos turnos rotativos. A prioridade 3 corresponde a trabalhos que devem ser iniciados dentro de 24 horas, enquanto a prioridade 4 refere-se a trabalhos que precisam de ser iniciados imediatamente. Estes trabalhos são sempre solicitados pela Produção, o que implica a necessidade de uma Requisição de Trabalho (RT) associada, sendo geridos diretamente pelo chefe de equipa operacional.

A equipa de manutenção pode não conseguir resolver a avaria imediatamente por diversos fatores, como a falta de condições adequadas por parte da Produção, por exemplo, ausência de segurança para o trabalho, ou dificuldades relacionadas à manutenção, como a falta de material necessário ou a inexistência de conhecimento técnico adequado para a resolução do problema. Nestas situações, a Ordem de Execução é reclassificada de prioridade urgente, ou seja, de 3 ou 4 para 1, 2, Paragem Programada (PP) ou Paragem Anual (PA).

Caso ocorra uma paragem da instalação, a reparação do equipamento é realizada, mesmo que de forma provisória, ficando o problema registada para uma solução definitiva a ser realizada durante uma PP ou PA.

4.4 Ferramentas de apoio à manutenção

Numa empresa de grandes dimensões como a Celbi, é essencial contar com uma ferramenta intuitiva e automática que suporte as diversas atividades operacionais. Neste contexto, a principal ferramenta utilizada no apoio às operações de manutenção na Celbi é um software de gestão de ativos denominado por “MAXIMO”, desenvolvido pela empresa International Business Machines Corporation, utilizando a marca registada IBM.

Esta ferramenta permite a realização de tarefas, como:

- Criação e preparação de Ordens de Execução;
- Criação, modificação e eliminação de localizações e equipamentos, incluindo a associação de artigos de armazém, calibrações, número de série, entre outros;

- Alteração das estruturas de artigos, o que permite associar artigos de armazém a outros componentes;
- Criação de guias de transporte para o envio de equipamentos para reparação;
- Execução de ordens de compra e pedidos de cotação;
- Criação de planos de trabalho e manutenção. Esta funcionalidade é particularmente útil, especialmente na geração automática de Ordens de Execução para rotinas de manutenção preventiva, facilitando a criação dessas OE's da maneira automatizada;
- Fornecimentos internos, gerados automaticamente sempre que um artigo recuperável é retirado, permitindo que o preparador crie a OE necessária para a reparação, envio para uma empresa externa ou reciclagem.

Embora o “*MAXIMO*” seja a principal ferramenta utilizada pela Celbi a nível da manutenção, não é a única. O sistema “*SAP*” também é utilizado, mas de forma exclusiva, para a gestão de armazém e compras. Além destes dois softwares, a Celbi ainda recorre ao “*MOPS Systems*”, que é a plataforma predominante na fábrica para o registo e análise de todos os dados processuais.

Estes tipos de ferramentas desempenham um papel fundamental na gestão de grandes indústrias, especialmente em fábricas de grandes dimensões e com operação contínua. A automatização do processo proporcionada por estes sistemas contribui para uma maior agilidade na resolução de problemas e avarias, otimizando a eficiência operacional.

4.5 Equipamentos recuperáveis e rotáveis

Ao instalar um novo equipamento é executado um levantamento das suas características técnicas, sendo ainda classificado como recuperável ou rotável.

Os Equipamentos Recuperáveis são aqueles que podem ser reparados e seguem o seguinte ciclo específico: instalação, oficina, armazém e, novamente, instalação sempre que apresentam falhas (Figura 4.4). Quando um equipamento falha, é substituído por outro disponível no armazém, permitindo que o equipamento volte rapidamente à operação. O equipamento avariado é então enviado para a oficina e, uma vez reparado, é guardado no armazém, até que seja necessário substituir um outro equipamento com as mesmas características. (Assis *et al.*, 2015).

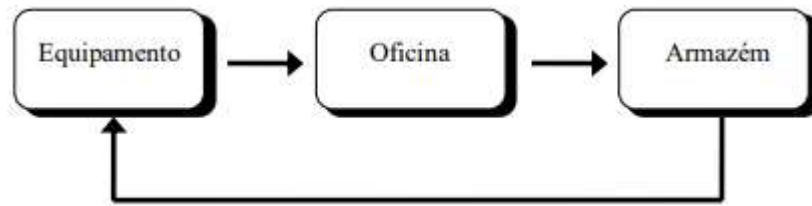


Figura 4.4 - Ciclo de um equipamento recuperável [retirado de (Assis *et al.*, 2015)]

Já os Equipamentos Rotáveis são aqueles que podem ser utilizados em mais do que uma localização, sendo muitas vezes mantidos como peças de reserva para diferentes equipamentos ou instalações conforme a necessidade. Este uso está relacionado com o conceito de redundância passiva, ou seja, equipamentos mantidos em *standby*, prontos para substituir componentes em caso de falha. Os equipamentos rotáveis distinguem-se por serem reparáveis e estarem disponíveis em quantidades limitadas.

Um dos principais desafios na gestão deste tipo de equipamento é determinar o número ideal de unidades de cada referência a manter em *stock*, ou até mesmo avaliar se é justificável manter algum.

A definição deste número pode ser feita com base em dois critérios:

1. Económico: considera os custos de oportunidade associados à paragem de equipamentos, quando, devido à falha de um componente, não está disponível um substituto imediato (por estar em reparação), bem como os custos de manutenção dos equipamentos em *stock*;
2. Fiabilidade (nível de serviço): refere-se à probabilidade de um equipamento estar disponível sempre que necessário, no caso de falha de um componente.

5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO

Neste capítulo, serão apresentados os trabalhos desenvolvidos na empresa durante o período de estágio. A primeira parte do capítulo abordará a criação e implementação de Planos de Manutenção, destacando as estratégias adotadas para a preparação dos Planos de Manutenção. Em seguida, será analisada a Gestão de *Stock*, com foco na análise detalhada do inventário de peças e equipamentos, com o intuito de reduzir custos e melhorar o desempenho da produção, mantendo apenas o que é realmente utilizado. Além disso, será apresentada a descrição de um novo Sistema de Monitorização implementado na empresa, destacando as diferenças entre as tecnologias *online* e *offline*. No contexto dos Processos de Melhoria, será explorado um dos diversos projetos de melhoria que ocorreram na empresa, particularmente o das bombas de aparas. Esta secção inicia-se com a Especificação do Processo em estudo, seguindo-se uma introdução do principal destaque deste processo de melhoria: a aplicação de uma tecnologia inovadora de análise de vibrações, conhecida como Amplificação de Movimentos. Será também discutido o sistema de registo de Históricos de Substituições e Ocorrências de falhas nos equipamentos da fábrica, um dos temas mais trabalhados durante o estágio. Por fim, será abordada a certificação individual de Ensaios de Equipamentos de Elevação de Cargas, que permitem o uso seguro e regulamentado na fábrica.

5.1 Planos de manutenção

Os Planos de Manutenção são entregues ao chefe de equipa sob a forma de um conjunto de Ordens de Execução, referentes a trabalhos de manutenção preventiva com periodicidade definida. Essas Ordens de Execução já vêm pré-preparadas e geradas conforme o número de dias estipulado. Assim, com a informação necessária o que se tem a realizar é a programação dos trabalhos de manutenção.

Estes planos são elaborados e implementados de acordo com a área de atuação. A execução destes planos segue regras determinadas pelo SFGM, setor responsável pela sua elaboração, com o objetivo de uniformizar as informações. No exemplo do Plano de Manutenção apresentado no Anexo E, o plano tem uma nomenclatura de PM-13-3GSF-0009 para o Sem-fins do Silo de Biomassa. Esta nomenclatura segue um padrão, que se divide em três pontos:

1. PM-13 - Indica o tipo de tarefa e o tipo de trabalho. No caso “PM-13”, refere-se a um Plano de Manutenção (PM) com um tipo de trabalho de manutenção preventiva, mais propriamente uma intervenção (13);
2. 3GSF - Representa a classificação do equipamento. No caso, “3G” está relacionado a um equipamento mecânico, e os códigos seguintes identificam o tipo de equipamento específico, que neste caso, “SF” identifica Sem-Fins;

3. 0009 – Indica a sequência do Plano de Manutenção. Neste caso, “0009” significa que se trata do nono Plano de Manutenção no equipamento “3GSF”.

Após ter a nomenclatura, é necessário preencher os restantes campos com as informações fornecidas. Estes campos incluem:

- Nome do Plano de Manutenção - Atribuir uma designação ao PM, isto para facilitar a pesquisa;
- Plano de Trabalho - Descreve as tarefas que deverão ser realizadas durante a execução do trabalho;
- Localização - Indica o local onde o trabalho será efetuado;
- Tipo de Trabalho - Refere-se ao tipo de trabalho que se irá realizar, que pode ser preventivo, corretivo, entre outros;
- Tipo de Atividade - Identifica o tipo de ação a ser executada, como uma inspeção, revisão, substituição, etc;
- Prioridade - Refere-se à urgência com que o trabalho deve ser realizado, conforme a sua importância;
- Serviço Emissor e Serviço Destino - Define a área da fábrica de onde o trabalho será originado e para onde será direcionado;
- Responsável de Preparação e Responsável de Execução - Define o responsável pela preparação dos trabalhos e os chefes de equipa encarregados pela execução do trabalho;
- Frequência - Especifica a periodicidade com que o trabalho será realizado, podendo ser diário, semanal, mensal ou anual;
- Situação da Ordem de Execução.

Mesmo quando os equipamentos desempenham funções semelhantes, é fundamental que sejam devidamente diferenciados e que sejam elaborados Planos de Manutenção específicos para cada um. Isto reflete um princípio importante da empresa, que é a uniformização de toda a informação, o que contribui para tornar as consultas mais rápidas, precisas e objetivas. Esta abordagem facilita o acesso à informação, garantindo clareza e eficiência no processo.

5.2 Análise e gestão de stock

Uma política eficaz de gestão de *stocks* e aprovisionamento tem como objetivo manter a quantidade adequada de peças de reserva, prevenindo tanto a escassez quanto a acumulação excessiva de inventário, o que aumentaria desnecessariamente o valor do capital imobilizado. Para garantir um bom desempenho das operações logísticas e de manutenção, é fundamental realizar uma análise contínua e precisa do *stock*, assegurando que os componentes estejam disponíveis, caso necessário, para reparações e manutenção dos equipamentos.

Colaboração no Departamento de Manutenção de uma Empresa de Pasta de Papel

Uma análise bem feita do *stock* não só previne a escassez de materiais essenciais, mas também contribui para a otimização do armazenamento e distribuição, reduzindo o tempo de espera e melhorando a eficiência dos processos. Além disso, uma gestão inteligente, com base em dados de consumo e previsão de necessidades, contribui para a minimização de custos com aquisições excessivas ou obsoletas, tornando a operação mais ágil e sustentável. O acompanhamento regular e detalhado dessa análise, aliada a um processo logístico eficaz, assegura a continuidade das operações e minimiza interrupções nos serviços.

Para a realização da análise de *stock* tem de se ter em conta os seguintes parâmetros, tais como o *stock* atual do equipamento existente no armazém, os parâmetros de gestão e a localização onde é utilizado (Figura 5.1).

- *Stock* atual - O *stock* existente no armazém do determinado equipamento;
- Parâmetros de gestão - Dita como é que será feita a reaprovisionamento do *stock*;
- Localização - Local onde o equipamento é alocado.

Código material	Último Movimento	Último Movimento	Quantidade	Parâmetros de Gestão	Stock atual	Onde é utilizado	Comentário 1	Comentário 2	Estado
1246349	00/01/1900	Nunca consumido	2	ZD EX	2	M852- -0521.50	Ver com SPP	Passar a Mono - E-mail RA 26/11/2024	Confirmar
1272635	19/10/2020	2020	539	V1 ZE 249	539	-	Ainda é utilizado?	Questionar SMEAS	
1207569	08/06/2018	2018	6	V1 ZE 2	6	482	Ainda é utilizado?	Questionar SMM	Carece de Confirmação - RA
1245083	00/01/1900	Nunca consumido	1	V1 ZE 1	1	M412- -0272.50 M412- -0270.50	OK		
1201287	25/10/2017	2017	2	V1 ZE 2	2	M463- -0001.51 M463- -0002.51	Peça Reserva?		Carece de Confirmação - RA
1246349	00/01/1900	Nunca consumido	1	ZD EX	1	M852- -0512.50	Ver com SPP	Passar a Mono - E-mail RA 26/11/2024	Confirmar
1246372	00/01/1900	Nunca consumido	1	ZD EX	1	M852- -0512.50	Ver com SPP	Passar a Mono - E-mail RA 26/11/2024	Confirmar
1226636	31/08/2011	2011	701	V1 ZE 220	701		Onde é utilizado?	Realocar	
1203469	28/06/2019	2019	1623	V1 ZE 150	1623		Ainda é utilizado?	Questionar SMEAS	Carece de Confirmação - RA
1245084	00/01/1900	Nunca consumido	1	V1 ZE 1	1	M412- -0272.50 M412- -0270.50	OK		
1243116	11/10/2013	2013	4	V1 ZE 1	4	294 (294- -0100 294CIN10) e 295 (295CIN10)	OK		Carece de Confirmação - RA
1243117	11/10/2013	2013	4	V1 ZE 1	4	294 (294- -0100 294CIN10) e 295 (295CIN10)	OK		Carece de Confirmação - RA
1207035	17/03/2015	2015	5.33	V1 ZE 5.33	5.33	M412- -0211.50 DP-LM-MEC M412- -0213.50	Ainda é utilizado?	Questionar SMM	Carece de Confirmação - RA
1203402	26/10/2015	2015	709	V1 ZE 249	709		Ainda é utilizado?	Questionar SMEAS	Carece de Confirmação - RA
1245088	22/06/2020	2020	2	V1 ZE 2	2	463-VS -0413 463-VS -0412	OK		
1204627	31/08/2011	2011	6	ZR ZX 2	6	293 (S-LIMITER_1)	Ainda é utilizado?	Questionar SMEAS	
1201282	24/06/2020	2020	2	V1 ZE 1	4	M463- -0206.50	OK		
1246338	00/01/1900	Nunca consumido	1	ZD EX	1	M852- -0511.50	Ver com SPP	Passar a Mono - E-mail RA 26/11/2024	Confirmar
1246370	00/01/1900	Nunca consumido	1	ZD EX	1	M852- -0511.50	Ver com SPP	Passar a Mono - E-mail RA 26/11/2024	Confirmar
1244996	22/06/2020	2020	2	V1 ZE 2	2	463-VS -0413 463-VS -0412	OK		
1207540	06/10/2017	2017	1	V1 ZE 1	1	M412- -0142.50	OK		Carece de Confirmação - RA
1244894	22/06/2020	2020	4	V1 ZE 2	4	463-VS -0413 463-VS -0412	OK		
1201451	31/08/2011	2011	469	ZD EX	469	851, 811, 661, 641, 631, 621, 611, 611, 481, 471, 451, 432, 431, 421, 412, 462	Mono	Questionar SMEAS	
1246365	00/01/1900	Nunca consumido	1	ZD EX	1	M852- -0600.51	Ver com SPP	Passar a Mono - E-mail RA 26/11/2024	Confirmar
1208464	13/09/2019	2019	4400	ZR ZX 1200	4400	M482- -0700.50	OK		Carece de Confirmação - RA
1201134	29/10/2019	2019	223	V1 ZE 134	223	M271- -0012.50 M271- -0011.50 M271- -0010.50 M271- -0009.50 M271- -0008.50 M271- -0007.50 M271- -0006.50 M271- -0005.50	Ainda é utilizado?	Questionar SMM	Carece de Confirmação - RA
1207320	06/10/2017	2017	1	V1 ZE 1	1	M412- -0142.50	OK		Carece de Confirmação - RA
1207335	23/09/2019	2019	2	V1 ZE 2	2	M324- -0009.50	OK		Carece de Confirmação - RA
1201742	19/06/2018	2018	10	V1 ZE 0.2	10		Ainda é utilizado?	Questionar SMEAS	Carece de Confirmação - RA
1205768	31/08/2011	2011	1	V1 ZE 1	1	M412-05 -0904.00	Ainda é utilizado?	Questionar SMEAS	Carece de Confirmação - RA
1244661	00/01/1900	Nunca consumido	1	V1 ZE 1	1	M421- -0440.50	OK		
1203399	16/05/2017	2017	956	V1 ZE 249	956		Ainda é utilizado?	Questionar SMEAS	Carece de Confirmação - RA
1207319	16/06/2020	2020	1	V1 ZE 1	1	M471- -0700.50	OK		
1206130	00/01/1900	Nunca consumido	1	V1 ZF 1	1	M421- -0357.50	OK		
1226596	00/01/1900	Nunca consumido	1	ZD EX	1	M131- -0079.50	OK		
1230530	00/01/1900	Nunca consumido	9.08	V1 ZE 9.08	18.74	M412- -0139.50	OK		
1205396	06/11/2014	2014	2	V1 ZE 2	2	296- -0001	OK		Carece de Confirmação - RA
1244453	29/12/2017	2017	2	V1 ZE 1	2	M852- -0005.50	OK		Carece de Confirmação - RA
1244589	01/04/2019	2019	2	V1 ZE 1	2	PS20-S1 PS20-S16 PS30-S1 PS50-S9	OK		Carece de Confirmação - RA

Figura 5.1 – Estudo da análise de *stock*

5.3 Sistema de monitorização

5.3.1 Sistema de medição *online* vs. *offline*

Os sistemas de monitorização podem ser divididos em dois tipos principais, os dispositivos de medição *online* e os dispositivos de medição *offline* (Figura 5.2). Além disso, existe um terceiro tipo, menos comum, conhecido como sistema semi-permanente.

Os dispositivos *online* são instalados diretamente nos equipamentos ou nas suas proximidades de forma permanente. Estes realizam medições contínuas ou

periódicas com o auxílio de sensores fixos, processamento de sinais e dispositivos de armazenamento. Estes sistemas capturam os dados dos sensores e, normalmente, os processam imediatamente, permitindo a monitorização em tempo real. Isto ajuda a prevenir falhas inesperadas ou perdas de qualidade no produto. No entanto, estes dispositivos tendem a ser caros, principalmente se for necessário instalar vários em diversos equipamentos ou instalações.

Por outro lado, os dispositivos de medição *offline* são portáteis e usados manualmente. Estes podem ser levados até aos equipamentos para realizar medições pontuais, que são analisadas imediatamente no local ou posteriormente num computador. Estes dispositivos são económicos, pois permitem monitorizar vários equipamentos, tornando o custo menor em comparação com os sistemas *online*. Porém, a principal desvantagem é que as medições não são contínuas e é necessária uma pessoa qualificada para operá-los, realizando medições em intervalos regulares.

Existe ainda sistemas semi-permanentes, onde os sensores são fixados permanentemente, mas os dispositivos de medição portáteis só são conectados durante as medições. Este tipo de solução é útil em situações onde o acesso ao equipamento é difícil ou onde o uso de sensores temporários com ímanes não é viável ou seguro enquanto o equipamento estiver em operação (Schaeffler Group *et al.*, 2023).

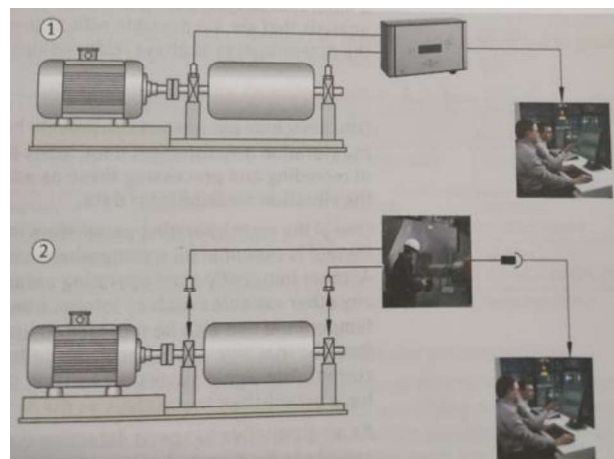


Figura 5.2 - Sistemas *online* vs. *offline* [retirado de (Schaeffler Group *et al.* 2023)]

5.3.2 Sensores *online*

Assim, no contexto de crescente competitividade no mercado de trabalho, as empresas buscam constantemente soluções inovadoras para otimizar os processos. Com o avanço da tecnologia e a chegada da Indústria 4.0, os sensores inteligentes ganharam destaque, proporcionando uma monitorização dinâmica e uma análise detalhada dos parâmetros dos equipamentos. Estes sensores permitem diagnósticos, previsões de falhas e análise da vida útil restante dos equipamentos.

A tecnologia OPTIME é a mais recente tecnologia desenvolvida pela Schaeffler. Esta tecnologia é uma solução de monitorização de condições altamente escalável e

sem qualquer tipo de cabo, desenvolvida para equipamentos rotativos numa gama de velocidade de rotação de 120 rpm a 5000 rpm. Os sensores OPTIME caracterizam-se por realizar medições de temperatura e vibrações, com intervalos definidos para a recolha de dados.

Assim, para garantir uma monitorização fiável numa ampla variedade de equipamentos, o OPTIME *Condition Monitoring* oferece três configurações de modos de operação diferentes. Começando com o Modo *Standard*, que realiza medições em intervalos de tempo fixos, sendo adequado para equipamentos que funcionam continuamente durante pelo menos 4 horas. O Modo *Dynamic*, por sua vez, é ideal para equipamentos que operam ocasionalmente, medindo dinamicamente apenas quando o equipamento está em funcionamento contínuo por mais de 30 segundos. Por fim, o Modo *High Dynamic* é projetado para equipamentos que funcionam de forma intermitente, realizando medições quando o equipamento está ativo por pelo menos 5 segundos e até cerca de 30 segundos. A Figura 5.3 é exemplo da explicação visual de como estes modos de operação funcionam.

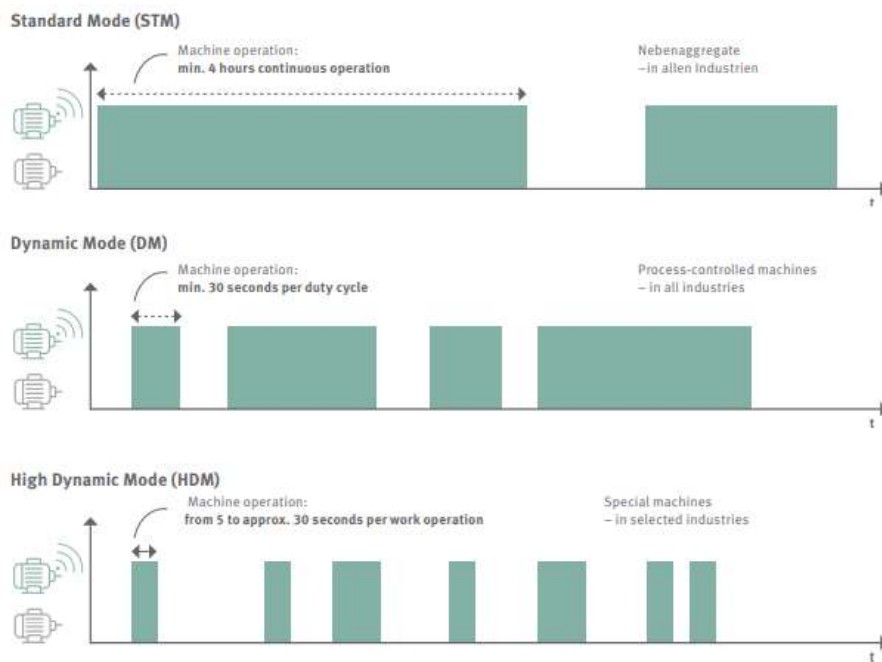


Figura 5.3 - Funcionamento dos três modos de operação [retirado de *OPTIME Ecosystem* (Schaeffler, 2025)]

Estas medições dinâmicas facilitam a instalação em ambientes industriais severos, oferecendo dados mais fiáveis e úteis para a manutenção preditiva. A rede de sensores *wireless* permite monitorar diversos componentes com baixa complexidade, enquanto a implementação e a expansão sem dificuldades tornam-se ideias para empresas que buscam otimizar a operação dos equipamentos, aumentando a eficiência e reduzindo os custos com manutenção corretiva.

Esta tecnologia disponibiliza dois tipos de sensores no âmbito da solução OPTIME, que se distinguem pela cor e pelas suas especificações de operação. Na Figura 5.4 apresentam-se os sensores utilizados: o OPTIME-AW3, identificado pela cor verde

e o OPTIME-AW5, identificado pela cor preta. Ambos os sensores operam em faixas de temperatura semelhantes, que variam entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. A principal diferença entre os dois está nos regimes de vibração com os quais trabalham. O OPTIME-AW3 é projetado para funcionar em velocidades de rotação entre 120 rpm e 3000 rpm, sendo ideal para aplicações em motores, geradores, ventiladores. Por outro lado, o OPTIME-AW5 suporta velocidades de rotação superiores, até 5000 rpm, o que o torna mais adequado para uso em bombas, moto-redutores e compressores (Anexo F). Os dados recolhidos pelos sensores são enviados para o OPTIME *Digital Service*, que é uma solução baseada numa *cloud* e pode ser usada tanto através de uma aplicação móvel como uma *dashboard* utilizada no *desktop*.



Figura 5.4 - Representação dos dois tipos de sensores [retirado de *Vibration Analysis* (Reliance, 2025)]

A Figura 5.5 apresentada ilustra a estrutura de funcionamento do sistema OPTIME, que é composta por três componentes principais: os Sensores, a *Gateway* e o *Digital Service*.

Os Sensores, alimentados por uma bateria, são de fácil instalação e podem ser rapidamente colocados nos equipamentos desejados. Como referido anteriormente, estes registam dados de vibração e temperatura e operam numa rede mesh sem fio, o que permite a troca automática dos dados recolhidos entre todos os sensores instalados. Por outras palavras, cada sensor envia os dados recolhidos para o sensor mais próximo, até que cheguem à *gateway*. O mesmo sucede com a ligação *Wi-Fi*, que também é transmitido de sensor em sensor, permitindo assim que as informações cheguem até à *gateway*.

A *Gateway* recebe os dados enviados pelos sensores e transmite-os para o *Digital Service* onde ficam armazenados todos os dados recolhidos.

O *Digital Service* é centralizado numa plataforma *cloud*, que realiza análises contínuas e automáticas. Sempre que é detetado um indício de falha ou uma avaria iminente, é emitido um alerta precoce. Estas análises recorrem a algoritmos que combinam conhecimento sobre rolamentos, experiência de monitorização de condições e aprendizagem proveniente dos próprios equipamentos. Os resultados podem ser consultados tanto numa aplicação móvel de fácil utilização como num painel de

controlo disponível na *dashboard*. As funcionalidades do sistema são configuráveis, permitindo a sua adaptação às necessidades específicas de cada cliente e aos seus processos de trabalho.

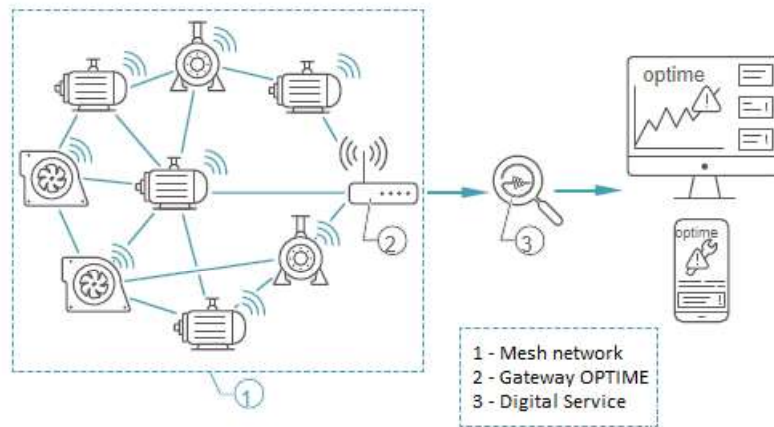


Figura 5.5 - Estrutura de funcionamento OPTIME [retirado de *OPTIME* (Schaeffler Singapore, 2021)]

Portanto, para garantir uma leitura precisa dos sensores, é essencial que estes sejam instalados corretamente. Os sensores devem ser posicionados próximos dos rolamentos do equipamento, preferencialmente num *layout* radial, ou seja, na zona de carga. Embora o local de instalação não seja crítico, é possível fixar o sensor a alguma distância da posição ideal e ainda assim obter resultados fiáveis. Por exemplo, se a área do rolamento de um motor não for acessível, o sensor pode ser instalado numa superfície plana adequada na carcaça ou até mesmo nas bases do motor. Como processo de monitorização de vibração capta as vibrações estruturais do equipamento, é fundamental que o sensor esteja o mais próximo possível aos rolamentos.

A principal característica destes sensores é que são totalmente *wireless*, ou seja, não necessitam de qualquer cabo no processo de monitorização. Além disso, destacam-se também pela facilidade com que enviam alertas de anomalia, transmitidos em tempo real através de uma aplicação. Estes alertas podem surgir sob a forma de *pop-up* no painel de controlo (*dashboard*) ou como notificação diretamente no telemóvel. Para que a recolha dos dados de temperatura e vibração seja eficiente, é necessário instalar a aplicação no telemóvel e criar um perfil para cada equipamento a monitorizar. Isto permite organizar todos os equipamentos e, em caso de anomalia, associar automaticamente o alerta ao equipamento específico que apresentou o problema. Deste modo, facilita-se a identificação não apenas da área afetada, mas também da posição exata onde ocorreu a falha.

A instalação e operação desta tecnologia não requerem conhecimentos prévios em monitorização de condições, sendo possível realizá-la rapidamente, sem necessidade de integração com o sistema IT (*Information Technology*) do cliente. Para iniciar a instalação dos sensores, é necessário determinar quantos sensores são necessário

para cada equipamento, com base na velocidade de rotação, na potência do equipamento e, conseqüentemente, no tamanho.

Para um estágio de testes, a área escolhida para a instalação foi a localização 452 (evaporação). Na instalação, encontram-se vários conjuntos de motores-bombas e uma bomba de vácuo, sendo necessário um número elevado de sensores, que serão distribuídos pelos vinte equipamentos a monitorizar, alocados aos respetivos motores e bombas. A bomba requer apenas de um sensor, devido ao seu regime de operação, enquanto o número de sensores no motor pode variar: para motores de baixa potência e pequeno porte, um único sensor é suficiente; para motor de alta potência e grande porte, são necessários dois sensores. No caso da bomba de vácuo, deverão ser instalados dois sensores junto à caixa redutora.

A posição exata de instalação dos sensores também é um fator importante. Na bomba, o sensor será sempre colocado na posição central. Para o motor, dependerá novamente da potência e do porte: caso seja necessário apenas um sensor, este é colocado próximo ao acionamento; se forem necessários dois sensores, um será instalado no lado do acionamento e o outro no lado oposto ao acionamento. No caso da bomba de vácuo os sensores serão posicionados na entrada e na saída da caixa redutora.

Com todas as informações necessárias para a instalação dos sensores, os passos a seguir são:

1. Identificar o equipamento onde se pretende instalar o sensor;
2. Marcar a localização exata das placas metálicas de fixação;
3. Limpar a superfície, tornando-a menos rugosa, garantindo melhor adesão;
4. Colar as placas metálicas na carcaça do equipamento;

Antes de fixar o sensor, é necessário registá-lo na aplicação para permitir a recolha dos dados. As etapas são:

1. Criar um perfil para o equipamento, inserindo todos os parâmetros;
2. Selecionar o perfil e especificar a componente (motor ou bomba);
3. Definir a posição exata do sensor;
4. Transferir as informações da aplicação para o sensor, recorrendo ao NFC;
5. Posicionar o sensor na placa metálica.

Desta forma, a instalação e configuração dos sensores são realizadas de maneira eficiente e organizada, garantindo que os dados da monitorização são recolhidos corretamente (Figura 5.6).



Figura 5.6 - Bomba de circulação efeito 7 (452-070): 3 AW3

5.4 Processos de melhoria

5.4.1 Especificação do processo de estudo

As aparas, antes de entrarem no processo do digestor, sofrem uma crivagem para a remoção de impurezas e sujidades. Após serem crivada, as aparas são transportadas por pontes rolantes até à tremonha de aparas, onde são armazenadas, iniciando a próxima etapa, o processo do digestor.

Na tremonha, as aparas são enviadas para as bombas de aparas, que, ao serem injetadas com licor traçado (mistura de licor branco e licor negro), são encaminhadas para o impregnador. Neste, as aparas sofrem um pré-cozimento antes de serem enviadas para o topo do digestor, facilitando assim o cozimento total das aparas. No digestor, é novamente introduzido licor traçado, juntamente com vapor proveniente da evaporação. As aparas deslocam-se no sentido descendente, por ação da gravidade, o que resulta na saída de pasta crua e de licor negro fraco pela base do digestor. O licor negro fraco é enviado para um processo cíclico denominado “processo *Kraft*”, através do qual se recupera o licor branco utilizado.

Após a sair do digestor, a pasta crua passa por uma lavagem em dois difusores de pressão, com o objetivo de remover produtos residuais orgânicos e inorgânicos, resultantes do processo de cozimento. Antes de ser submetida ao pré-branqueamento, a pasta crua é crivada para eliminar nós, areias e aparas não cozidas, ou seja, elementos que não podem prosseguir no processo.

5.4.2 Bombas de aparas (*chip pumps*)

As bombas de aparas, também conhecidas como “*Chip Pumps*”, são responsáveis pelo transporte eficiente das aparas, desde a tremonha de aparas até ao impregnador, a Figura 5.7 ilustra um pequeno esquema.

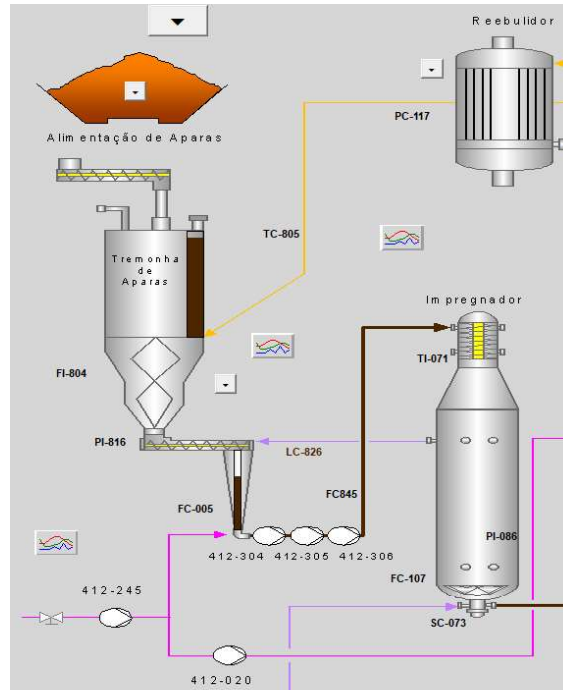


Figura 5.7 - Esquema de tremonha de aparas até ao impregnador (retirado do MOPS)

Estas bombas funcionam com base no princípio de transporte de sólidos suspensos num líquido, composto por licor misturado com vapor. O licor é injetado no início das bombas de aparas, enquanto o vapor é adicionado à tremonha de aparas. As bombas são projetadas para reduzir o atrito entre as aparas e as superfícies da bomba e das tubagens, o que é essencial, dado que as aparas podem variar em tamanho. Este design pretende tornar o processo de transporte mais eficiente e evitar danos tanto às tubagens quanto às próprias bombas.

As bombas de aparas são, na verdade, bombas centrífugas que utilizam o movimento rotacional do rotor (Figura 5.8) para gerar a pressão necessária para empurrar as aparas através das tubagens até ao impregnador. Para garantir um desempenho eficaz, estas bombas devem ser robustas o suficiente para transportar grandes quantidades de aparas sem causar obstruções nas tubagens. É por isso que estas bombas são denominadas por “*Chip Pumps*”, sendo amplamente utilizadas nas indústrias papelarias.



Figura 5.8 - Rotor da bomba de aparas (412-304)

Devido à abrasividade das aparas, tanto nas tubagens quanto nas próprias bombas, é imprescindível que as bombas sejam construídas com materiais resistentes ao desgaste. Para um transporte mais eficiente, utilizam-se três bombas de aparas em série: a bomba 304, a bomba 305 e a bomba 306, (Figura 5.9).



Figura 5.9 - Instalação das bombas de aparas

5.4.3 Amplificação de movimento

5.4.3.1 Razão para adoção desta tecnologia

Embora já existisse conhecimento sobre o desalinhamento das bombas de aparas, uma vez que estas já haviam sido alinhadas várias vezes, decidiu-se abordar estas ocorrências frequentes de forma mais técnica. Para tal, foi subcontratada a empresa RDI Technologies, que é pioneira na tecnologia de Amplificação de Movimentos.

Esta tecnologia permite captar as vibrações dos equipamentos através de filmagens. O objetivo desta intervenção era obter um *feedback* detalhado sobre as ações necessárias para reduzir as vibrações, o que, conseqüentemente, ajudaria a diminuir, ou até eliminar, os desalinhamentos.

5.4.3.2 Conceito

A tecnologia de Amplificação de Movimento, ou *Motion Amplification*, é uma solução avançada de análise de vibrações baseada em câmaras que capturam movimentos subtis, como deflexões, deslocamentos e vibrações de equipamentos. Utilizando um algoritmo especializado, esta tecnologia torna visíveis movimentos impercetíveis a olho nu, permitindo uma análise mais detalhada das causas e interações que geram esses movimentos, tudo em tempo real. Isto facilita a identificação rápida de problemas relacionados à manutenção condicionada dos equipamentos, oferecendo uma validação imediata e eficaz dos resultados.

A configuração desta tecnologia é simples e rápida, podendo ser realizado em apenas alguns minutos, sem a necessidade de contacto direto com o equipamento. Cada pixel da imagem capturada pela câmara torna-se num sensor, capaz de medir a vibração e o movimento com uma precisão incomparável.

Durante o funcionamento, um equipamento pode gerar vibrações tão pequenas que são invisíveis ao olho humano. No entanto, esses movimentos podem causar problemas como desalinhamento, desequilíbrio ou até fissuras nos componentes, afetando a eficiência e, em casos mais graves, originando falhas catastróficas. Com a amplificação de movimento, é possível identificar esses pequenos movimentos e analisar os seus efeitos.

Ao contrário das abordagens tradicionais, que fornecem apenas dados numéricos e gráficos sobre vibrações e danos, o vídeo gerado pela amplificação de movimento oferece uma visualização clara e objetiva dos movimentos subtis permitindo uma análise detalhada e rica (Figura 5.10).



Figura 5.10 - Captura do movimento de uma bomba

5.4.3.3 Procedimento

Antes de iniciar o estudo da amplificação do movimento nas bombas de aparas, é essencial montar corretamente o equipamento de filmagem, uma vez que a qualidade dos dados recolhidos depende diretamente dos dispositivos utilizados. O sistema de filmagem inclui uma câmara de alta precisão, um conjunto de lentes com diferentes focais (12.5 mm, 25 mm, 50 mm), um tripé para garantir estabilidade, um distanciômetro para medir a distância exata da câmara ao equipamento e, por fim, um computador com o *software* (Figura 5.11), garantindo assim que as imagens capturadas reflitam o comportamento dinâmico do equipamento.



Figura 5.11 - Equipamentos de amplificação de movimentos

Com o sistema instalado, é possível iniciar o estudo das bombas de aparas, seguindo um conjunto de passos para garantir a melhor qualidade possível na filmagem:

1. Definir o plano de gravação: Para um estudo completo, é recomendável realizar a gravação de vários planos;
2. Configuração no *software*: É necessário ajustar os parâmetros do estudo, escolher o tipo de lente, a resolução da gravação, a distância da câmara ao equipamento, a *frame rate* e a duração da gravação;
3. Focagem da lente e ajustes do *brightness*:

É importante prestar em especial atenção à escolha do plano de gravação, pois a luz solar pode tornar o vídeo muito escuro, dificultando ou até mesmo impossibilitando a análise do movimento.

5.4.3.4 Tratamento de Vídeo

Depois de concluir a gravação, é necessário ajustar o vídeo para que o movimento desejado seja corretamente visualizado. É possível definir a amplitude do movimento (a vermelho) e a velocidade de vibração (a laranja), adaptando estes parâmetros conforme as necessidades, como ilustrado na Figura 5.12.

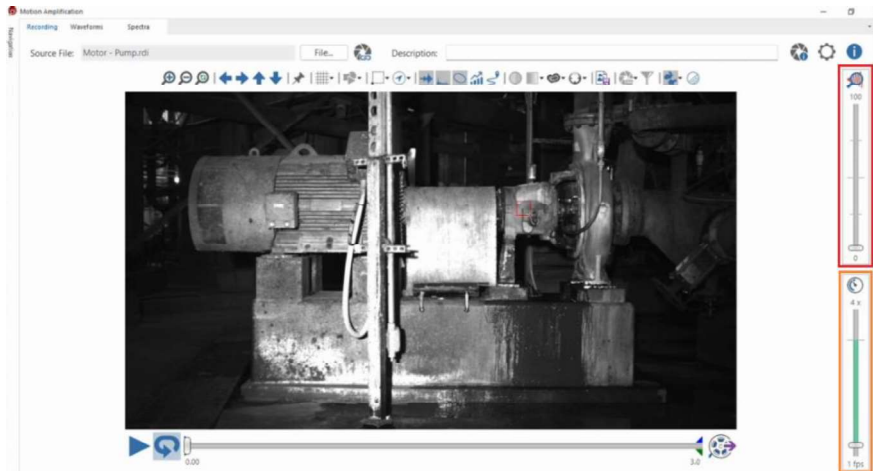


Figura 5.12 - 1º passo do tratamento do vídeo

Depois de definidos os parâmetros de amplificação e velocidade, o próximo passo é criar um ponto de interesse, indicado a verde na Figura 5.13. Este ponto permite ao *software* concentrar os cálculos na região específica, representando o movimento nessa zona. O resultado dessa análise é apresentado em gráficos, como ilustrado Figura 5.14.

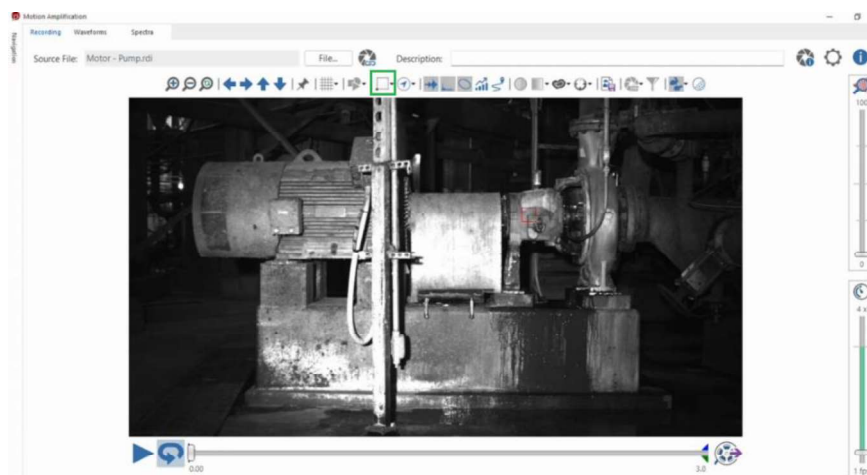


Figura 5.13 - 2º passo do tratamento de vídeo

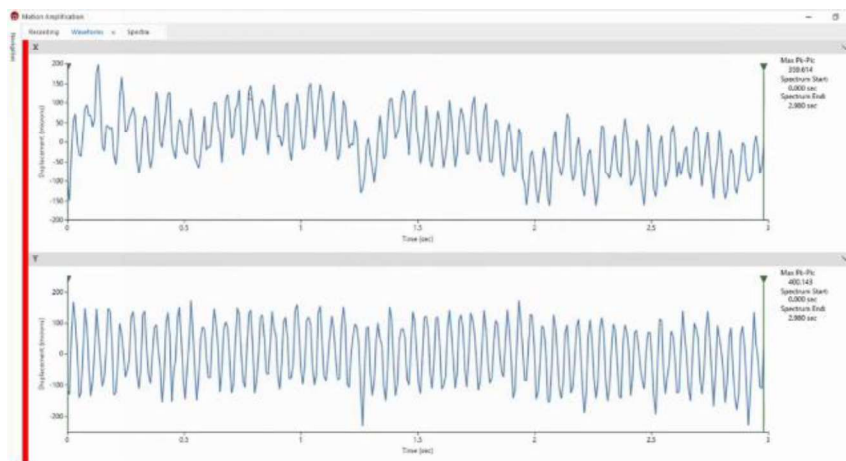


Figura 5.14 - 3º passo do tratamento de vídeo

Com os gráficos disponíveis, é necessário realizar uma filtragem isolando as rotações específicas do equipamento em estudo, garantindo que apenas os dados relevantes sejam analisados. Após essa filtragem, o gráfico estará pronto para análise. No entanto, para um estudo mais detalhado, podem ser gerados três tipos de gráficos diferentes, com a possibilidade de escolher entre três orientações (X, Y ou X e Y), para gerar estes gráficos terá de se selecionar a área laranja, conforme é ilustrado na Figura 5.15.

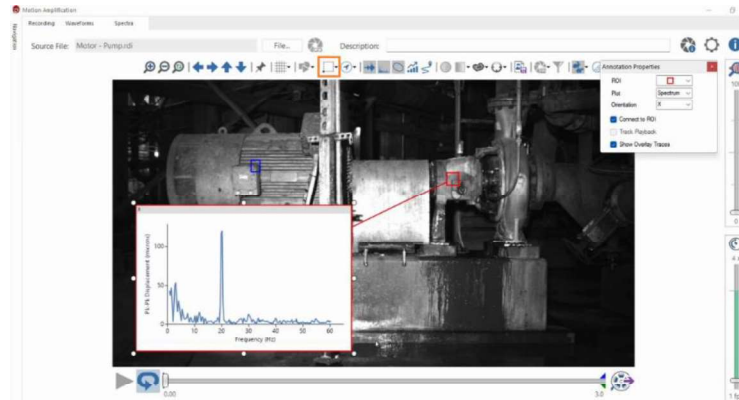


Figura 5.15 - 4º passo do tratamento de vídeo

Os três gráficos disponíveis para análise são:

- *Spectrum*: Gráfico de deslocamento (em μm) em função da frequência (em Hz);
- *Waveform*: Gráfico de deslocamento (em μm) em função do tempo (em segundos);
- *Orbit*: Gráfico de deslocamento (em μm) em função do deslocamento (em μm).

As figuras seguintes ilustram cada um destes gráficos: a Figura 5.16 representa o gráfico “*Spectrum*”, a Figura 5.17 ilustra o gráfico “*Waveform*” e por fim a Figura 5.18 exhibe o gráfico “*Orbit*”.

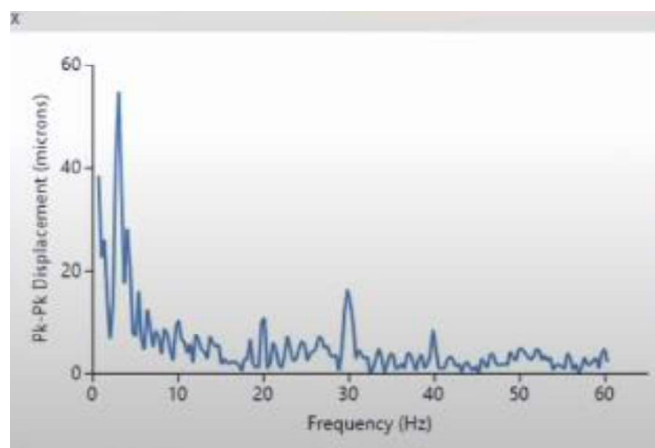


Figura 5.16 - Gráfico *spectrum*

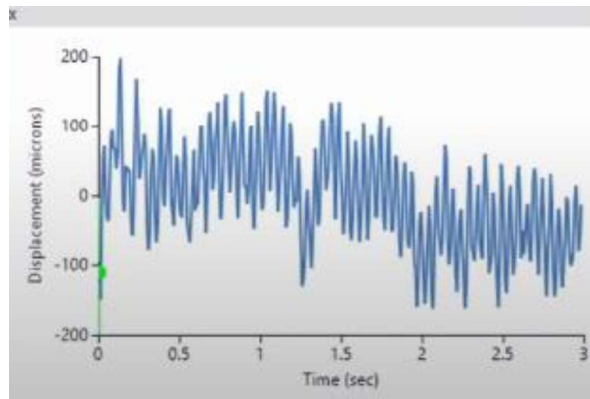


Figura 5.17 - Gráfico *waveform*

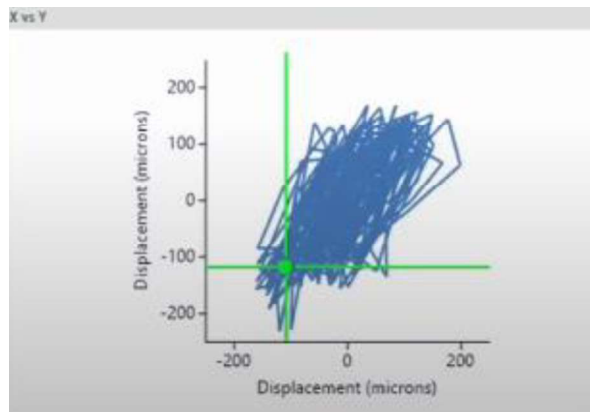


Figura 5.18 - Gráfico *orbit*

5.4.3.5 Conclusões do estudo

A partir da análise dos gráficos obtidos das bombas de aparas 412-304, 412-305 e 412-306, foi possível concluir que as bombas apresentavam desalinhamento. Esse desalinhamento afetava também outras componentes, provocando o desequilíbrio em todo o sistema. Constatou-se que a blindagem do acoplamento estava insuficientemente reforçada, o que tornava frágil e suscetível a deformações com o passar do tempo. Por fim, verificou-se que as bases do motor eram muito frágeis e necessitavam de reforço para garantir maior estabilidade e resistência.

5.4.4 Melhorias nas bombas de aparas

Após o conjunto de conclusões retiradas pelo técnico da RDI Technologies, decidiu-se reforçar as bases do motor das bombas de aparas na próxima PP, iniciando-se desde já a organização de todos os preparativos necessários para que possa ser executando durante a interrupção.

5.4.4.1 Paragens de janeiro e julho

O trabalho foi inicialmente planeado e agendado para ser realizado na PP de janeiro (Figura 5.19 (a)). No entanto, devido a alguns atrasos, só foi possível reforçar uma das três bombas, especificamente a bomba 412-306 (Figura 5.19 (b)). Enquanto, a bomba 412-304 recebeu um reforço parcial, ou seja, as bases foram montadas,

porém não foram soldadas, ficando apenas pingadas. Além do reforço das bases dos motores, foi realizada a substituição dos elementos elásticos das bombas, alterando a sua resistência térmica de -40°C a 80°C para -40°C a 140°C , garantindo assim uma maior resistência à temperatura das bombas.

Na PP de julho, o trabalho nas duas bombas restantes foi concluído: a bomba 412-304 teve a sua base totalmente reforçada e a bomba 412-305 teve o reforço iniciado e concluído.



Figura 5.19 - Bomba 412-306: (a) Antes do reforço da base do motor; (b) Depois do reforço da base do moto

5.4.4.2 Relatório 3C

A pedido, realizou-se um relatório das bombas de aparas, isto para que se possa concentrar toda as informações envolvidas nas mesmas em apenas um documento, facilitando assim a sua análise.

Com referido anteriormente, o relatório 3C é composto por três passos principais, conhecidos como os “3Cs”: o Caso, a Causa e a Contramedida, além de um quarto passo relacionado às verificações após a implementação das contramedidas (Anexo G).

Assim, no primeiro passo, descreve-se a situação das bombas de aparas, com destaque para o registo de desalinhamentos frequente e um número anormal de falhas nas componentes internas das bombas, como rolamentos, elementos elásticos, unidades rotativas, rotores e retentores. Para além desta descrição, podem ser incluídas, caso existiam e seja necessário, as ocorrências recentes relacionadas aos diferentes equipamentos, como o número de falhas, o número de substituições de determinados componentes, entre outras.

No segundo passo, é apresentado o Diagrama de Espinha de Peixe, utilizado para identificar e organizar as possíveis causas do desalinhamento e das falhas nas bombas de aparas. Exemplos de causas incluem a baixa qualidade dos materiais internos, o desgaste excessivo causado pelas aparas e os desalinhamentos devido à fragilidade das bases.

No terceiro passo, é descrito as contramedidas adotadas para reduzir os desalinhamentos das bombas e, conseqüentemente tentar diminuir as falhas nos componentes. Neste ponto, são enumeradas as ações realizadas, com a identificação dos responsáveis pelo trabalho, as datas e observações que ajudem a esclarecer as ações tomadas.

O último passo do relatório trata das verificações das contramedidas implementadas, com o objetivo de avaliar os resultados obtidos e verificar se as ações tomadas produziram os resultados esperados.

Caso se pretenda, pode ser incluído anexos, onde podem ser adicionadas imagens comparativas entre a situação anterior e a atual das bombas, tabelas com as diferentes falhas das três bombas e informações relevantes dos fabricantes.

5.5 Históricos de substituições e ocorrências

O registo histórico é um dos documentos mais importantes para garantir a eficiência de uma fábrica, pois a sua análise e estudo são fundamentais para promover a evolução e o aprimoramento contínuo da operação. Ao permitir o registo detalhado de avarias de um equipamento e os seus respetivos componentes, o histórico fornece informações valiosas sobre o comportamento ao longo do tempo. Com base nestes dados, a empresa pode desenvolver estratégias para melhorar a fiabilidade dos equipamentos, procurando reduzir os custos de manutenção e aumentar a disponibilidade dos mesmos para a produção.

Assim, para facilitar o acompanhamento de todas as substituições e ocorrência na fábrica, a Celbi cria diversos ficheiros de históricos de substituições para as diversas áreas da fábrica. Isto permite uma análise mais simples e clara sobre a frequência das substituições e os componentes que foram substituídos em cada equipamento dessa determinada área. O SFGM é o setor responsável por manter estes históricos atualizados, tarefa que só é possível graças ao sistema “MAXIMO”, que é constantemente atualizado com informações realizadas nos equipamentos. Estes dados são cruciais para registar falhas e eventuais avarias.

Estes registos permitem uma gestão eficaz da manutenção e contribuem para a melhoria contínua dos processos na fábrica. Embora os históricos possam variar consoante o caso, os tópicos mais comuns são:

- Substituições de componentes nos equipamentos;
- Substituições dos próprios equipamentos;
- Em alguns casos, comparação de custos;
- Cálculo de indicadores de manutenção (MTBF e o MTTR), com o objetivo de otimizar os intervalos de manutenção;
- Cálculo do número de substituições realizados e do tempo em operação;
- Registo de que equipamento presentes na instalação;

- Análise detalhada das ocorrências.

De seguida, serão apresentados alguns dos registos de substituições e ocorrências realizados ao longo do estágio, de forma a exemplificar o conceito base.

5.5.1 Raspador de fundo do impregnador

A propósito da paragem que iria acontecer em abril, foi solicitado um levantamento das substituições dos empanques do Raspador de Fundo do Impregnador (412-139), com o principal objetivo de identificar as datas exatas das antigas intervenções. Para além disso, foi também pedido o registo das substituições dos rolamentos e do veio do Raspador de Fundo nos últimos anos.

Para esta análise, foi necessário consultar as Ordens de Execução uma a uma (Figura 5.20), de forma a recolher dados reais que confirmassem a substituição dos componentes, seja através dos materiais reservados, seja através das observações introduzidas pelos chefes de equipa ou responsáveis pelo trabalho. Isto deve-se ao facto de, por vezes, as Ordens de Execução serem apenas “abertas”, ou seja, criadas à localização com intuito de realizar a substituição de um componente, mas por algo motivo o trabalho acaba por não ser executado, seja por falta de tempo, ou seja, por inexistência de *stock*. Nestes casos, embora a Ordem de Execução indique uma substituição, esta não chegou efetivamente a ocorrer.

Ordem Execução	Descrição	N.º RT	Zona	Localização	Equipamento	Tipo Trab.	Situação	Motivo	Data Situação	Plano Trabalho
31327484	Ajustar Buçim/Empanque) Insp Rotina		3	M412--0139.50	F3GRP009	011	EXEC		17-04-2025 16:56	
31325449	Empancar raspador de fundo IV. - (PP Abr 2025)		3	M412--0139.50	F3GRP009	012	EXEC		06-05-2025 15:47	PT-33-3GEO-4
31324701	Ajustar empanque (Buçim)		3	M412--0139.50	F3GRP009	011	EXEC		06-05-2025 14:27	
31321278	Ajustar empanque (Preventiva)		3	M412--0139.50	F3GRP009	011	EXEC		17-02-2025 14:26	
31318019	Empancar Raspador de Fundo. (PP Jan 2025)		3	M412--0139.50	F3GRP009	012	EXEC		17-01-2025 11:20	
31317487	Fuga pelo veio do raspador de fundo		3	M412--0139.50		011	EXEC		17-12-2024 9:46	
31316749	Fuga pelo veio do raspador de fundo		3	M412--0139.50	F3GRP009	011	EXEC		04-12-2024 13:31	
31316704	Fuga pelo veio do raspador de fundo	RT250372	3	M412--0139.50	F3GRP009	011	EXEC		06-12-2024 16:59	
31304921	não imputar custos - Advise Celbi with service of the outlet device and scraper (PA 2024)		3	M412--0139.50		022	FECHO		02-02-2025 23:12	
31289946	Desentparar veio do raspador de fundo do impregnador		3	M412--0139.50		012	FECHO		01-04-2024 22:03	
31286030-1	Reparar Veio do RASPADOR "HACRNER" TIPO: S-1000 (IMPREGNADOR)		3	M412--0139.50	F3GRP009	015	EXEC		07-10-2024 13:22	
31286830	Substituir - Suporte de Rolamentos do Raspador de Fundo do Impregnador; Empancar medições (PA 2024)		3	M412--0139.50	F3GRP009	021	EXEC		08-10-2024 16:50	
31280423	Efectuar medições e folgas; Inspeccionar raspador do fundo; Empancar (PA 2024)		3	M412--0139.50		021	CAN		19-12-2023 9:26	
31265853	Ajustar empanque (Buçim)		3	M412--0139.50		011	FECHO		15-07-2023 22:05	
3126431	Efectuar medições e folgas; Inspeccionar raspador do fundo; Empancar (PA 2023)		3	M412--0139.50	F3GRP009	021	FECHO		16-02-2025 22:07	
31232015	Zona 3 - OE Aquecimento de lava para motor hidráulico do IV		3	M412--0139.50	F3GRP009	013	FECHO		13-02-2024 22:00	
31227090-1	Reparar veio do raspador de fundo do IV N.º Equipamento F3GRP009; SALDO ZERO) art 1001504		3	M412--0139.50	F3GRP009	013	FECHO		29-08-2024 22:00	
31227090	Substituir - Suporte de Rolamentos do Raspador de Fundo do Impregnador; Empancar medições (PA 2021)		3	M412--0139.50	F3GRP009	021	FECHO		24-02-2025 22:04	
31225478	Fuga pelo empanque do raspador; Ajustar empanque (PP Ago 2021)	RT200785	3	M412--0139.50	F3GRP009	013	FECHO		12-02-2022 22:40	PT-33-3GB-01
31217975	Efectuar medições e folgas; Inspeccionar raspador do fundo; Empancar (PA 2021)		3	M412--0139.50	F3GRP009	021	REP		21-09-2021 11:44	
31199505	Ajustar Buçim/Empanque) Insp Rotina		3	M412--0139.50	F3GRP009	011	FECHO		23-11-2020 22:02	
31193343	Inspeccionar/Empancar raspador fundo - Solução Alternativa Valmet (PP Out 2020)		3	M412--0139.50	F3GRP009	012	FECHO		12-10-2021 22:00	
31185434	Efectuar medições e folgas; Inspeccionar raspador do fundo. (PA 2020)		3	M412--0139.50	F3GRP009	021	FECHO		28-10-2020 22:01	
31177183	Reposicionar Deflectores e Colocar "Barreira" ao Licor		3	M412--0139.50		011	FECHO		01-12-2019 22:02	
31176791	Ventilar / Ruído anormal		3	M412--0139.50		011	FECHO		26-11-2019 22:05	
31170710	Empancar Raspador de Fundo. (PA 2020)		3	M412--0139.50	F3GRP009	012	REP		31-03-2020 12:24	
31158652	Alestar nível de óleo 100 litros		3	M412--0139.50		011	FECHO		11-02-2019 22:07	
31150303	Alestar unidade hidráulica		3	M412--0139.50		011	FECHO		24-09-2018 22:03	
31132786	Fuga de licor pelo veio do raspador de fundo do IV	RT149542	3	M412--0139.50		011	REP		11-09-2017 22:28	
31128606	Repor nível de óleo		3	M412--0139.50		011	FECHO		13-10-2017 22:01	

Figura 5.20 - Ordens de execução relacionadas ao raspador de fundo do impregnador

Após a recolha de toda a informação necessária no sistema “MAXIMO”, iniciou-se a construção da uma tabela relativamente a todas as Ordens de Execução dos últimos 15 anos, contendo os números das Ordens, datas de início dos trabalhos, descrições e o equipamento associado. Com estes dados, foram então detalhadas as

substituições de cada componente, bem como as respetivas descrições e datas de substituição, como se pode observar na figura abaixo (Figura 5.21).

Ordem Execução	Início Real	Descrição	Equipamento	Empanque	Polamentos	Veio
3125449		Empancar raspador de fundo IV - (PP Abr 2025)	F3GRFP009			
3126422		Elektur medjéze e foljas. Inspeccionar raspador do fundo. Empancar (PA 2024)	F3GRFP009			
3104482		Elektur em tubo para lubrificar rolamentos	F3GRFP009			
399966		Empancar/Fuga do bujin pelo bujin	F3GRFP009			
270369		Ajustar empanque	F3GRFP009			
95173		Elektur flange para desmontagem do raspador	F3GRFP009			
177998		Empancar o bujin	3GRFP002			
111412		Empancar raspador	F3GRFP001			
104929		Perda licor e bujin do raspador	F3GRFP001			
114777		Inspeccionar rotor do raspador	F3GRFP001			
3125470	05/03/2025	Ajustar empanque (Bujin)	F3GRFP009			
3125476	23/09/2025	Ajustar empanque (Preventiva)	F3GRFP009			
3126079	11/09/2025	Empancar Raspador de Fundo (PP Jan 2025)	F3GRFP009			
3127462	12/02/2024	Fuga pelo veio do raspador do fundo	F3GRFP009			
3138749	04/02/2024	Fuga pelo veio do raspador de fundo	F3GRFP009			
3138704	03/02/2024	Fuga pelo veio do raspador de fundo	F3GRFP009			
31262920-1	03/09/2024	Reparar Veio do RASPADOR: "VALVERNER" TIPO: 5-1000 (IMPREGNADOR)	F3GRFP009			
31384321	23/09/2024	Não imputar custos - Adverse Cabwith service of the outlet device and scraper (PA 2024)	F3GRFP009			
31263270	23/09/2024	Substituir - Suporte do Rolamentos do Raspador de Fundo do Impregador, Empancar medjéze (PA 2024)	F3GRFP009			
31265946	10/02/2024	Desentlar veio do raspador de fundo do impregador	F3GRFP009			
31227060-1	11/02/2023	Reparar veio do raspador de fundo do IV N.º Equipamento F3GRFP009 (SALDO ZERO) An.1001954	F3GRFP009			
31265953	10/02/2023	Ajustar empanque (Bujin)	F3GRFP009			
3126411	27/02/2023	Elektur medjéze e foljas. Inspeccionar raspador do fundo. Empancar (PA 2023)	F3GRFP009			
3126336	10/02/2021	Zona 3 - OE Aquisição de bujin para motor hidráulico do IV	F3GRFP009			
31227060	11/02/2021	Substituir - Suporte do Rolamentos do Raspador de Fundo do Impregador, Empancar Medjéze (PA 2021)	F3GRFP009			
31257376	23/09/2021	Elektur medjéze e foljas. Inspeccionar raspador do fundo. Empancar (PA 2021)	F3GRFP009			
3125478	10/08/2021	Fuga pelo empanque do raspador. Ajustar empanque (PP Ago 2021)	F3GRFP009			
31269958	23/07/2020	Ajustar Bujin (Empanque) Imp. Floata	F3GRFP009			
31263443	23/06/2020	Inspeccionar/empancar raspador fundo - Solução Alternativa Valmet (PP Out 2020)	F3GRFP009			
3126434	23/06/2020	Elektur medjéze e foljas. Inspeccionar raspador do fundo (PA 2020)	F3GRFP009			
31307070	31/05/2020	Empancar Raspador de Fundo (PA 2020)	F3GRFP009			
31277823	09/05/2020	Reparar/inspeccionar e Colocar "Barrileta" ao Licor	F3GRFP009			
31276729	23/07/2019	Verificar/fluido anormal	F3GRFP009			
31263268	11/02/2019	Atesta nivel de óleo 300 litros	F3GRFP009			
31265203	25/05/2018	Ajustar unidade hidráulica	F3GRFP009			
31266779	11/02/2017	Elektur medjéze e foljas. Inspeccionar/empancar raspador do fundo (PA 2017)	F3GRFP009			
31262786	11/02/2017	Fuga de licor pelo veio do raspador de fundo do IV	F3GRFP009			
31263806	13/06/2017	Reparar nível de óleo	F3GRFP009			
31263832	13/06/2016	Verificar/Ajustar empanque	F3GRFP009			
31003656	04/05/2016	Elektur medjéze e foljas/inspeccionar raspador do fundo (PA 2016)	F3GRFP009			
31265943	24/02/2016	Ajustar empanque	F3GRFP009			
31265969	03/11/2015	Empancar Raspador fundo do Impregador (PP Nov 2015)	F3GRFP009	1243033		
31260724	04/06/2015	Ajustar empanque (preventiva)	F3GRFP009			
31264964	23/09/2015	Ajustar empanque (preventiva)	F3GRFP009			
10779523	12/05/2015	Ajustar empanque (preventiva)	F3GRFP009			
31275078	09/04/2015	Elektur medjéze e foljas/inspeccionar raspador do fundo (PA 2015-D)	F3GRFP009			
31275632	02/03/2015	Fuga pelo empanque	F3GRFP009			
31263389	17/11/2014	Fuga pelo empanque do raspador de fundo - Fix-empancar (PP)	F3GRFP009	1243033		
31261701	10/11/2014	Fuga pelo empanque do raspador de fundo - Fix-empancar (PP)	F3GRFP009			
31261489	30/06/2014	Fuga pelo empanque do raspador de fundo	F3GRFP009			
31265894	23/07/2014	Verificar/fluido roda	F3GRFP009			
31264453-1	07/06/2013	Reparar N.º Equipamento F3GRFP009 VEIO 1001954	F3GRFP009			
31264572	18/02/2014	Substituir - Suporte de Rolamentos do Raspador de Fundo do Impregador (PA 2014)	F3GRFP009			
31264335-1	25/11/2013	Reparar veio C.O.C. 1001924 Raspador do fundo do impregador	F3GRFP009			
31264453-1	07/06/2013	Reparar N.º Equipamento F3GRFP009 C.O.C. 1001929	4231004			
31264859	20/05/2013	Fuga pelo empanque do raspador de fundo - Fix-empancar	F3GRFP009			
31264829	08/09/2012	Desentlar cama de empanque e bujin adicional	F3GRFP009			
31262870	19/05/2012	Empancar raspador de fundo	F3GRFP009			
31264339	19/05/2012	Substituição do suporte do rolamento do raspador do IV	F3GRFP009			
278847	10/02/2012	Substituir rolamentos do raspador de fundo	F3GRFP009			

Figura 5.21 - Tabela referente às ordens de execução

Com a tabela preenchida, foi criada uma segunda tabela unicamente com o objetivo de ilustrar, de forma histórica, os acontecimentos e intervenções no Raspador de Fundo nos últimos anos (Anexo H), incluindo observações pertinentes dessas intervenções.

Por fim, para resumir todas as substituições realizadas, elaborou-se uma ilustração com a ordem cronológica das substituições dos componentes (Anexo I).

5.5.2 Permutadores das unidades hidráulicas

Uma outra análise realizada foi o registo de todos os refrigeradores de óleo da fábrica. O principal objetivo era identificar primeiramente as substituições efetuadas nestes permutadores, bem como a identificação das localizações a que os mesmos estavam alocados.

Portanto, inicia-se a análise recorrendo ao *software* “MAXIMO”, onde se identifica um total de 32 permutadores de unidades hidráulicas codificados (Figura 5.22). No entanto, desses 32 permutadores alguns encontravam-se obsoletos, ou seja, já não se encontram em uso, seja pelas localizações já terem sido abatidas, seja por ainda não terem sido removidos do sistema. Após filtragem, conclui-se que, dos 32 permutadores, 26 permutadores encontravam-se ativos.

Colaboração no Departamento de Manutenção de uma Empresa de Pasta de Papel

Item	Situação SAP	Cód. Artigo C/FL RI	Cód. Artigo Biotec	Cód. Artigo C/AMA	Descrição	Armazém	Saldo Atual	Custo Médio	Último Custo	Grupo Mercadorias	Retável?	Tip. ABC	Sit.	Situação
1001717	OBSOLETO	48001006			REFRIG OLEO	1300-0001	0,00		1100				1003	ACTIVO
1009808	OBSOLETO	48000004			REFRIG OLEO	1300-0001	0,00		1100				1003	ACTIVO
1009809	ACTIVO	48000006			REFRIG OLEO	1300-0001	0,00		1100				1003	ACTIVO
1009810	ACTIVO	48000024			REFRIG OLEO	1300-0001	1,00		1100				1003	ACTIVO
1009811	ACTIVO	48000920			REFRIG OLEO	1300-0001	1,00		1100				1003	ACTIVO
1009812	OBSOLETO	48001005			REFRIG OLEO	1300-0001	0,00		1100				1003	ACTIVO
1009813	ACTIVO	48000110			REFRIG OLEO	1300-0001	1,00		1100				1003	ACTIVO
1009814	ACTIVO	48000120			REFRIG OLEO	1300-0001	1,00		1100				1003	ACTIVO
1009815	OBSOLETO	48000145			REFRIG OLEO	1300-0001	0,00		1100				1003	ACTIVO
1009816	ACTIVO	48000150			REFRIG OLEO	1300-0001	0,00		1100				1003	ACTIVO
1009817	ACTIVO	48000155			REFRIG OLEO	1300-0001	0,00		1100				1003	ACTIVO
1009818	ACTIVO	48000226			REFRIG OLEO	1300-0001	0,00		1100				1003	ACTIVO
1009819	OBSOLETO	48000320			REFRIG OLEO	1300-0001	0,00		1100				1003	ACTIVO
1009820	OBSOLETO	48000450			REFRIG OLEO	1300-0001	0,00		1100				1003	ACTIVO
1009821	ACTIVO	48000500			REFRIG OLEO	1300-0001	1,00		1100				1003	ACTIVO
1009822	ACTIVO	48000565			REFRIG OLEO	1300-0001	1,00		1100				1003	ACTIVO
1009823	ACTIVO	48000510			REFRIG OLEO	1300-0001	2,00		1100				1003	ACTIVO
1009824	ACTIVO	48000515			REFRIG OLEO	1300-0001	1,00		1100				1003	ACTIVO
1009825	ACTIVO	48000705			REFRIG OLEO	1300-0001	1,00		1100				1003	ACTIVO
1009826	ACTIVO	48000710			REFRIG OLEO	1300-0001	1,00		1100				1003	ACTIVO

Figura 5.22 - Permutadores de óleo da fábrica

Com base nesta informação, foi recolhida toda a informação relevante para a análise, como nome do permutador, número de artigo, localizações e por fim as transações, incluindo data de transação, local de substituição e Ordem de Execução associada, como ilustra a Figura 5.23. Este tipo de análise é fundamental para o planeamento da manutenção.

Artigo	Data da Transação	Ordem de Serviço
1009809	22/01/2010	272188
1009810	23/04/2010	279510
1009811	31/07/2008	233953
1009811	02/01/2008	233953
1009813	11/09/2017	31134441
1009813	02/11/2016	31190288
1009813	25/10/2011	314185
1009814	25/02/2020	31191629
1009814	13/10/2016	31111622
1009814	07/09/2016	31109502
1009814	28/05/2015	31079040
1009816	15/04/2025	31327546
1009816	17/03/2025	31315621
1009816	01/09/2022	31249257
1009816	12/05/2021	31218694
1009816	19/03/2020	31219208
1009816	29/11/2019	31183494
1009816	30/10/2018	31159527
1009816	11/10/2018	31157488
1009816	07/06/2018	31148400
1009816	02/11/2015	31086523
1009816	01/07/2015	31081173
1009816	28/03/2013	31036787
1009816	29/10/2009	288907
1009818	03/10/2003	123918
1009818	14/12/2000	106476
1009821	09/05/2016	31087944
1009821	01/03/2011	302022
1009822	01/05/2016	31087944
1009822	01/03/2011	302022
1009823	21/01/2014	31053952
1009825	10/05/2011	269257
1009827	07/04/2010	279453
1046941	20/05/2019	31170399
1046942	23/06/2012	31246591
1046944	05/05/2013	31269918
1046953	20/05/2019	31170399
1046956		
1046957		
1047556	02/08/2022	31245497-1.50
1047556	23/01/2020	31186809
1047556	10/08/2016	31084293-1.40
1049176		
1049178		
1055008		
1066957		

Figura 5.23 - Análise dos permutadores

Perante uma página de informações recolhidas, calcularam-se os principais indicadores: tempo de funcionamento, tempo médio entre falhas (MTBF) e número de substituições (Anexo J). O tempo de funcionamento corresponde ao período entre a última substituição e a data mais recente; o MTBF é a média desse tempo; e o número de substituições corresponde à contagem total de todas as intervenções realizadas nesses permutadores. De notar que, quando existem várias localizações, estas análises são realizadas separadamente, permitindo calcular individualmente os tempos de funcionamento. Após o cálculo do MTBF, este foi representado graficamente, facilitando a análise (Figura 5.24).

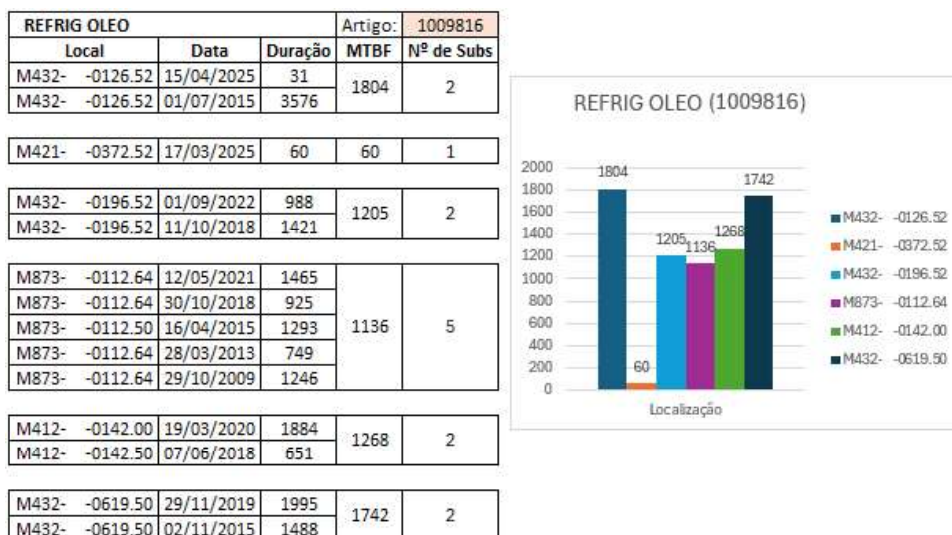


Figura 5.24 - Cálculo dos indicadores e representação gráfica

5.5.3 Bombas de aparas

Uma das primeiras análises realizadas durante o estágio foi a avaliação das substituições frequentes nas três Bombas de Aparas (412-304, 412-305, 412-306).

Através da análise de Ordens de Execução no “MAXIMO”, verificou-se que as componentes mais frequentemente substituídos eram os rotores, os elementos elásticos, os rolamentos, os retentores mecânicos, e as próprias bombas.

Para organizar as informações, criaram-se três tabelas, uma por bomba, contendo o número referente à Ordem de Execução, a descrição da Ordem, localização, a causa da Ordem, o equipamento a que a Ordem estava aberta, situação, prioridade ou código de planeamento, data de início e a duração entre substituições (Anexo K).

Posteriormente, calculou-se os indicadores MTBF e números de substituições para cada componente, diferenciando-as das três bombas (Figura 5.25).

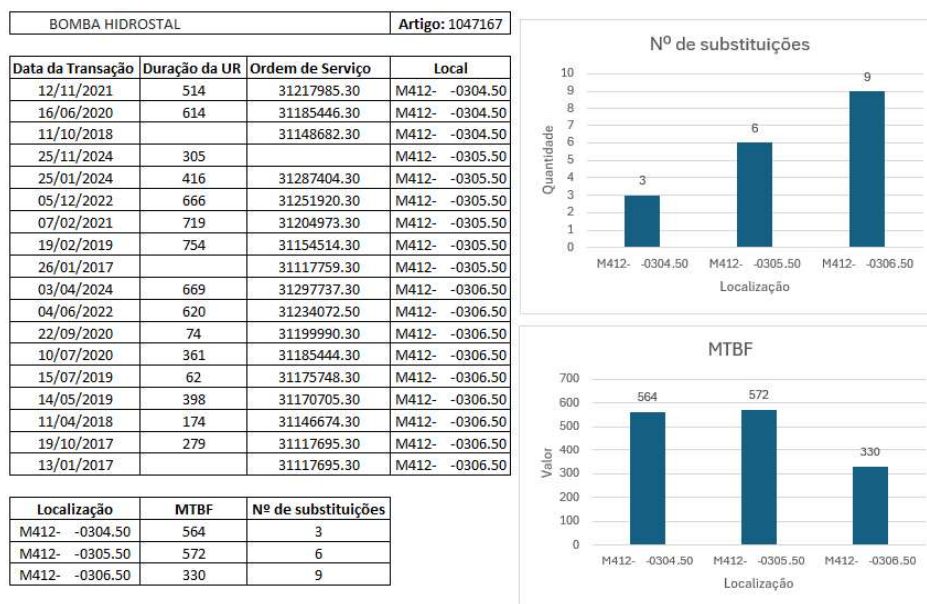


Figura 5.25 - Representação da substituição da bomba

Para finalizar esta análise, todos os dados relativos aos indicadores anteriormente calculados foram reunidos numa tabela, demonstrando as substituições realizadas nos últimos 10 anos (Figura 5.26).

Resumo do histórico de substituições nas bombas nos últimos 9/10 anos												
Localização 412-304												
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total	MTBF
Unidade Rotativa				1		1	1				3	564
Elemento Elástico	1					2	1			1	6	650
Rotor				1				1		1	3	1077
Rolamento				1			1				2	1150
Total geral											14	860

Localização 412-305												
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total	MTBF
Unidade Rotativa			1			1		1		2	6	572
Elemento Elástico				2			2	1		2	7	463
Rotor			1		1			1		1	4	781
Rolamento			1		1		1	1		2	6	539
Retentor Mecânico			1		1		1	1		2	6	543
Total geral											23	581

Localização 412-306												
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total	MTBF
Unidade Rotativa			2	1	2	2		1		1	9	330
Elemento Elástico		1		1	3	2	2	1		7	17	181
Rotor				2	1	3		1			7	283
Rolamento				1	1	2		1		1	6	461
Retentor Mecânico				1	1	2		1		1	6	476
Total geral											45	346

Figura 5.26 - Histórico de substituições

5.5.4 Retentores mecânicos

Face a uma dúvida relacionada a dois retentores mecânicos, relativamente a qual deles era mais viável, foi solicitado um estudo comparativo entre os mesmos, tendo em conta o tempo de funcionamento, eficácia, viabilidade e custo.

Com os números de artigos dos retentores mecânicos eram “1014964” e “1044122”, foi possível extrair do “MAXIMO” todas as informações relativas às suas substituições (Anexo L).

Estes dados foram organizados numa tabela, uma para cada artigo (Figura 5.27), demonstrando todas as localizações relativas aos últimos movimentos.

RETENT MEC				RETENT MEC			
Artigo		1014964		Artigo		1044122	
Data da Transação	Ordem de Serviço	Local	Equip.	Data da Transação	Ordem de Serviço	Local	Equip.
08/03/2023	31262366-1.50	M432-153	3GSR0667	17/02/2025	31316474-1.50	M432-153	3GSR0775
16/09/2021	31219687-1.50	M432-153	3GSR0775	25/10/2024	31303236-1.50	M432-121	3GSR0668
21/01/2021	31204985-1.50	M432-121	3GSR0667	08/01/2021	31204985-1.50	M432-121	3GSR0667
01/03/2019	31164844-1.20	M432-153	3GSR0667	26/05/2020	31188322-1.40	M432-121	3GSR0668
21/02/2018	31144349-1.50	M432-153	3GSR0775	31/01/2018	31140211.35	M432-153	3GB 0979
19/02/2018	31144349.20	M432-153	3GB 0979	08/10/2017	31135893.50	M432-121	3GB 0658
26/01/2017	31118968.50	M432-121	3GB 0658	27/12/2016	31115814.50	M432-121	3GB 0658
02/04/2013	31034439.50	M432-121	3GB 0658				
26/10/2009	269153.50	M432-121	3GB 0658				

Figura 5.27 - Tabela comparativa entre retentores mecânicos

Para calcular os indicadores (duração entre substituições, MTBF e os números de substituições), foi necessário separar os dados por retentor. Com os resultados, criou-se uma tabela comparativa e um gráfico dos MTBF's em cada localização, como ilustrado na Figura 5.28.

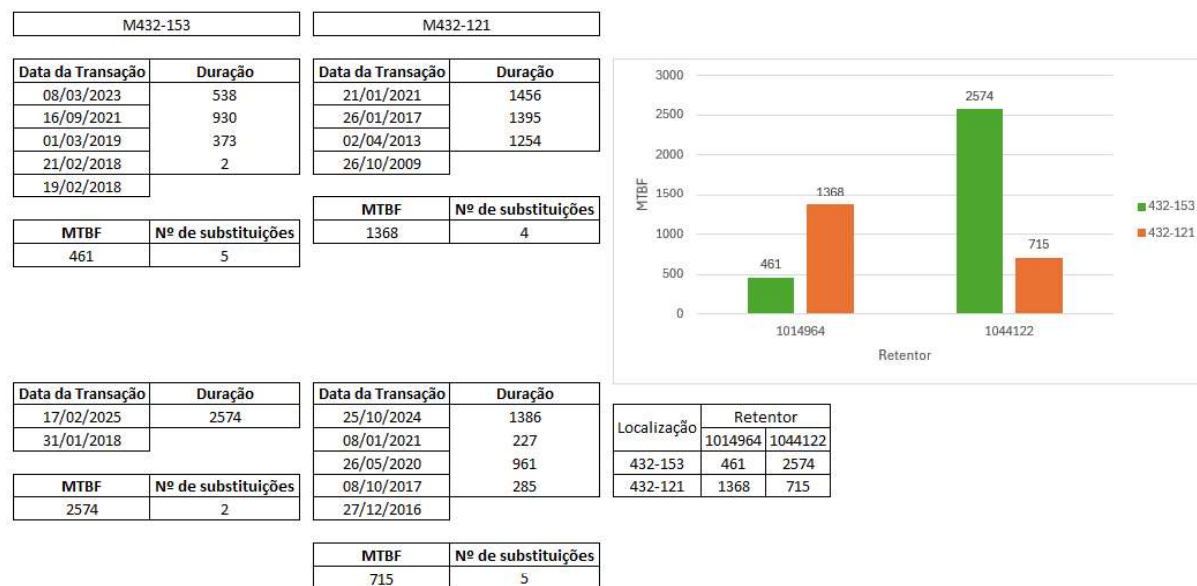


Figura 5.28 - Cálculos comparativos

Após esta análise comparativa, foi solicitada uma nova análise, desta vez por equipamento. A partir da tabela da Figura 5.27, identificou-se cinco equipamentos: três suportes de rolamentos, “3GSR0775”, “3GSR0668”, “3GSR0667” e duas bombas, “3GB 0979”, “3GB 0658” (Figura 5.29). Como as substituições das bombas

Colaboração no Departamento de Manutenção de uma Empresa de Pasta de Papel

eram antigas e pouco relevantes, a análise concentrou-se apenas nos suportes de rolamentos.

1014964			
Equipamento	Data da Transação	Ordem de Serviço	Local
3GSR0667	08/03/2023	31262366-1.50	M432- -0153.51
3GSR0775	16/09/2021	31219687-1.50	M432- -0153.51
3GSR0667	21/01/2021	31204985-1.50	M432- -0121.51
3GSR0667	01/03/2019	31164844-1.20	M432- -0153.51
3GSR0775	21/02/2018	31144349-1.50	M432- -0153.51
3GB 0979	19/02/2018	31144349.20	M432- -0153.50
3GB 0658	26/01/2017	31118968.50	M432- -0121.50
3GB 0658	02/04/2013	31034439.50	M432- -0121.50
3GB 0658	26/10/2009	269153.50	M432- -0121.50

1044122			
Equipamento	Data da Transação	Ordem de Serviço	Local
3GSR0775	17/02/2025	31316474-1.50	M432- -0153.51
3GSR0668	25/10/2024	31303236-1.50	M432- -0121.51
3GSR0667	08/01/2021	31204985-1.50	M432- -0121.51
3GSR0668	26/05/2020	31188322-1.40	M432- -0121.51
3GB 0979	31/01/2018	31140211.35	M432- -0153.50
3GB 0658	08/10/2017	31135893.50	M432- -0121.50
3GB 0658	27/12/2016	31115814.50	M432- -0121.50

Figura 5.29 - Demonstração dos equipamentos

Assim, retirou-se o histórico de movimentos de cada um dos equipamentos, determinando a duração desde a entrada do equipamento na instalação. De seguida, calculou-se o MTBF de cada suporte de rolamentos e os resultados foram representados graficamente. Tendo em conta que um dos suportes é utilizado em duas localizações, os cálculos foram realizados separadamente para cada localização (Figura 5.30).

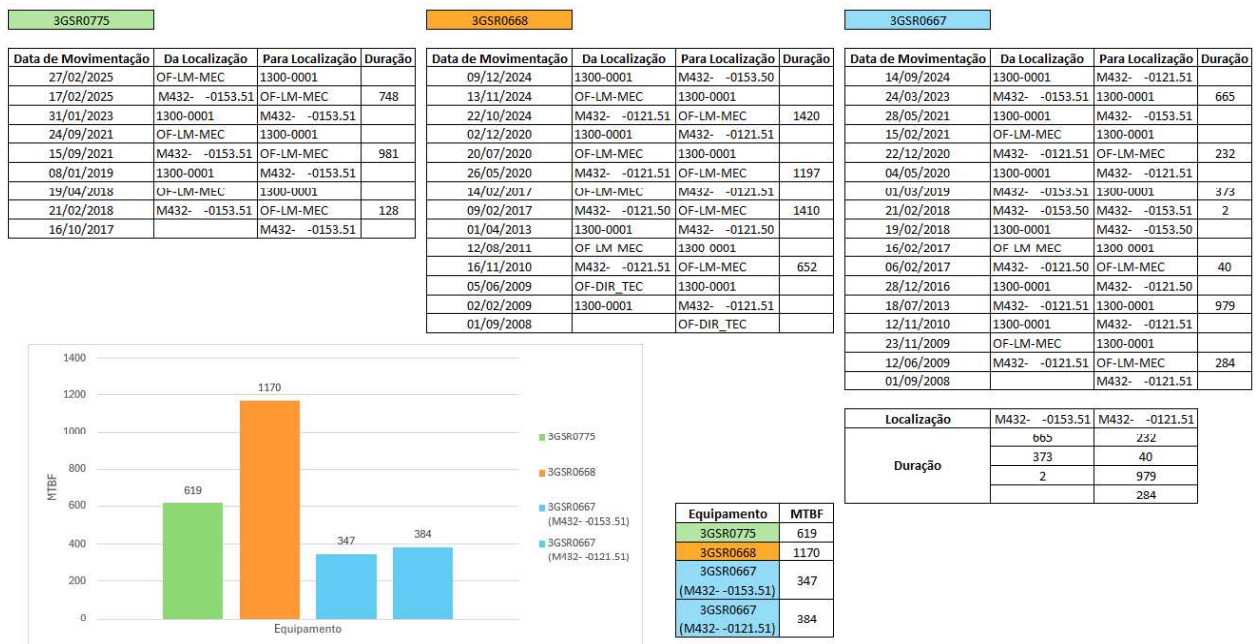


Figura 5.30 - Histórico de movimentos dos equipamentos

Por fim, foi solicitado um novo estudo relativo ao tempo de funcionamento dos retentores nos respetivos equipamentos. Para tal, os históricos de substituição dos dois retentores foram reunidos numa única tabela, distinguindo-se claramente cada um deles (Figura 5.31).

Artigo	Equipamento	Data da Transação	Ordem de Serviço	Local
1044122	3GSR0775	17/02/2025	31316474-1.50	M432- -0153.51
1044122	3GSR0668	25/10/2024	31303236-1.50	M432- -0121.51
1044122	3GSR0668	26/05/2020	31188322-1.40	M432- -0121.51
1044122	3GSR0667	08/01/2021	31204985-1.50	M432- -0121.51
1044122	3GB 0979	31/01/2018	31140211.35	M432- -0153.50
1044122	3GB 0658	08/10/2017	31135893.50	M432- -0121.50
1044122	3GB 0658	27/12/2016	31115814.50	M432- -0121.50
1014964	3GSR0775	16/09/2021	31219687-1.50	M432- -0153.51
1014964	3GSR0775	21/02/2018	31144349-1.50	M432- -0153.51
1014964	3GSR0667	08/03/2023	31262366-1.50	M432- -0153.51
1014964	3GSR0667	21/01/2021	31204985-1.50	M432- -0121.51
1014964	3GSR0667	01/03/2019	31164844-1.20	M432- -0153.51
1014964	3GB 0979	19/02/2018	31144349.20	M432- -0153.50
1014964	3GB 0658	26/01/2017	31118968.50	M432- -0121.50
1014964	3GB 0658	02/04/2013	31034439.50	M432- -0121.50
1014964	3GB 0658	26/10/2009	269153.50	M432- -0121.50

Figura 5.31 - Histórico de substituições dos dois retentores

Com toda a informações necessárias na tabela, calcularam-se as durações de funcionamento de cada equipamento e, de seguida, os MTBF's de cada retentor associado. Os resultados são introduzidos num gráfico comparativo (Figura 5.32).



Figura 5.32 - Gráfico do tempo de funcionamento dos retentores nos equipamentos

A partir das três análises realizadas, concluiu-se que, para a primeira análise o retentor “1014964” apresenta melhor desempenho na localização 432-121 (bomba/misturador de dióxido de cloro), enquanto para o retentor “1044122” é mais adequado para a localização 432-153 (bomba do misturador para a torre D).

Para a segunda análise, concluiu-se que o suporte de rolamentos “3GSR0668” apresenta maior tempo médio entre falhas (MTBF), indicando um tempo de funcionamento superior após substituições.

Na última análise, constatou-se que o retentor “1014964” apresenta melhor desempenho nos suportes de rolamentos “3GSR0668” e “3GSR0667”, enquanto o retentor “1044122” é mais eficaz nos suportes de rolamentos “3GSR0775” e “3GSR0667”.

Para além destes trabalhos, foram realizadas ainda as análises gerais às áreas da fábrica e de determinadas instalações, incluindo os históricos de rotação de equipamentos da fábrica, situação das prensas de lavagem e de branqueamento, os eventos na máquina de secagem e o estado dos discos e laminas da cortadeira. Estes registos constituem a documentação principal para acompanhar todas as substituições e ocorrências que ocorrem nas instalações ao longo do ano.

Estes documentos, como referido anteriormente, são elaborados pelo setor de fiabilidade e atualizados semestralmente, de acordo com a disponibilidade e da quantidade de atividade registada nas instalações.

5.6 Ensaios de equipamentos de elevação de cargas

A todas os equipamentos de elevação e amarração de cargas na empresa é exigido um certificado individual. A Celbi subcontrata a empresa PEWAG, que na área de equipamentos de elevação e amarração de cargas conta com técnicos altamente qualificados e oferece um amplo leque de serviços de inspeção. O ensaio declara que todos os equipamentos satisfazem os requisitos técnicos definidos na diretiva europeia nº 2006/42/CE, transposta para a legislação nacional pelo decreto-lei nº 103/2008, de 24 de junho, relativo à colocação no mercado e entrada em serviço dos equipamentos e respetivos acessórios.

A lista dos equipamentos a ser inspecionada no ano de 2025, com vista à renovação da autorização de funcionamento, encontra-se no Anexo M. Todos os equipamentos certificados pela PEWAG cumprem o certificado de inspeção EN 10204 2.2, conforme estabelecido pelo DL 50/2005. No Anexo N, pode ser consultado um certificado de uma linga de elevação de 1.25 m, capaz de suportar cargas de duas toneladas.

Após o envio dos certificados pela PEWAG, verificou-se a existência de discrepâncias nos nomes dos equipamentos e nos números de identificação. Assim, realizou-se uma análise para organizar todos os equipamentos de elevação e amarração de cargas certificados, comparando o número de identificação indicado no certificado com o número de série descrito no sistema “MAXIMO”. A Figura 5.33 ilustra o ficheiro Excel comparativo entre os números de série indicados nos certificados e os números de série, incluindo a indicação de conformidade entre ambos e a existência da designação no “MAXIMO”.

João Ramos Neves Rascão

Equipamento	Descrição	Nº de Série (Certificado)	Nº de Série (Maximo)	Conforme
	MANILHA MEIA LUA P/O 0,5TON	6HAD9-OFICINA		
EECP3457	CINTA ELEVAÇÃO CIRCULAR C/ 1,5 METROS 1TON	3556	202206/3556	
EECP3658	LINGA CORRENTE G80 13MM 1 RAMAL 2M 5,3TON C/GANC MOD18	331.24		
EECP3660	LINGA CORRENTE G80 10MM 2 RAMAIS 2M 4,25TON A 45º C/GANC MOD18	332.24		
EECP3659	LINGA CORRENTE G80 13MM 2 RAMAIS 2M 7,5TON A 45º C/GANC MOD18	333.24		
EECP3205	ESTROPO CABO AÇO 34MM 6X36+1 C/5MT 13 TON C/ ALÇAS	118669	118670	
EECP3204	ESTROPO CABO AÇO 34MM 6X36+1 C/5MT 13 TON C/ ALÇAS	118670	118669	
EECP3139	CINTA ELEVAÇÃO CIRCULAR C/ 6 METROS 2TON	129844	129844	
EECP1464	LINGA CORRENTE G80 8MM, 1 RAMAL C/ 1M E GANCHO AUTOBLOC 2 TON A 90º	217026	217026	
EECP1465	LINGA CORRENTE G80 8MM, 1 RAMAL C/ 1M E GANCHO AUTOBLOC 2 TON A 90º	217027	217027	
EECP1466	LINGA CORRENTE G80 10MM, 1 RAMAL C/ 1M E GANCHO AUTOBLOC 3,15 TON A 90º	217028	217028	
EECP1467	LINGA CORRENTE G80 10MM, 1 RAMAL C/ 1M E GANCHO AUTOBLOC 3,15 TON A 90º	217029	217029	
EECP1469	LINGA CORRENTE G-80 10MM C/ 2 RAMAIS C/ 2 METROS E ENCURTADORES 4250 KG A 45º	217031	217031	
EECP3030	CINTA DUPLA C/ 6 METROS E 3 TON	491901	XPD 491901	
EECP1429	LINGA CORRENTE G80 8MM, 1 RAMAL C/ 1M E GATO AUTOBLOC 2 TON A 90º	2120063	2120063	
EECP1438	LINGA CORRENTE G80 13MM, 1 RAMAL C/ 1M E GATO AUTOBLOC 5,3 TON A 90º	2120072	2120072	
EECP1457	LINGA CORRENTE 8MM, 1 RAMAL C/ 2M 2 TON	2150077	2150077	
EECP1460	LINGA CORRENTE 10MM, 1 RAMAL C/ 2M 3,150 TON	2150080	2150080	
EECP1462	LINGA CORRENTE 13MM, 1 RAMAL C/ 2M 5,300 TON	2150082	2150082	
	OLHAL SUSPENSÃO SLR M16 4TON	22-3-3636		
EECP3188	LINGA CORRENTE 10MM 1 RAMAL 1M 3,15TON C/GANC AUTOBC	22/5129-1	22/5129-1	
EECP3191	LINGA CORRENTE 10MM 1 RAMAL 1M 3,15TON C/GANC AUTOBC	22/5129-2	22/5129-2	
EECP3189	LINGA CORRENTE 10MM 2 RAMAIS 2M 4,25TON C/GANC AUTOBC	22/5129-3	22/5129-3	
EECP3190	LINGA CORRENTE 10MM 2 RAMAIS 2M 4,25TON C/GANC AUTOBC	22/5129-4	22/5129-4	
EECP3192	LINGA CORRENTE 13MM 1 RAMAL 2M 5,3TON C/GANC AUTOBC	22/5129-5	22/5129-5	
EECP3193	LINGA CORRENTE 13MM 1 RAMAL 2M 5,3TON C/GANC AUTOBC	22/5129-6	22/5129-6	
	OLHAL SUSPENSÃO SLR M16 4TON	23-3-3635		
EECP2439	GARRA REMA TIPO CS-1.0H 1000KG	4757009	4757009	
EECP2440	GARRA REMA TIPO CS-1.0H 1000KG	4757010	4757010	
EECP3446	GARRA REMA TIPO CSEU-3,0 0-95MM 3000KG	5935617	5935617	
EECP1012	TIRFOR C/CAPACIDADE 1,6TON.	08046013		
EECP1010	TIRFOR C/CAPACIDADE 1,6TON.	08124156		
EECP1013	ECP- TIRFOR'S	11052284	11052284	
EECP1619	GARRA TOPAL KS2 0-25 2TON	14-284628	284628	
EECP1620	GARRA TOPAL KS2 0-25 2TON	14-284629	284629	

Conforme		
Sim	Não	Sem nº serie (maximo)

Figura 5.33 - Ficheiro de comparação dos números de série

6 CONCLUSÕES

O estágio realizado na Celulose Beira Industrial S.A. constituiu uma experiência altamente enriquecedora tanto a nível pessoal como profissional. Proporcionou uma experiência prática da realidade de um departamento de manutenção numa empresa de pasta de papel, enfrentando desafios relacionados com a fiabilidade dos equipamentos, o planeamento e execução de atividades e a gestão eficiente dos recursos.

Os resultados demonstraram que a adoção de metodologias estruturadas como o *Kainzen* e o TPM, associados à análise de dados históricos e indicadores de desempenho, contribuem diretamente para a melhoria contínua dos processos produtivos e para a redução de custos operacionais. Destaca-se a importância da manutenção condicionada e do acompanhamento da implementação de novas tecnologias, como ferramentas de monitorização de equipamentos rotativos, para aumentar a eficiência e reforçar a fiabilidade das instalações.

A análise dos históricos de substituições, dos registos de ocorrências e o desenvolvimento dos planos de manutenção demonstram o valor da informação detalhada e sistematizada para o suporte à tomada de decisão. Em síntese, o estágio representou um contributo concreto para a empresa e para o reforço da formação técnica e profissional obtida durante este percurso, possibilitando o reforço dos conhecimentos e o desenvolvimento de competências de gestão, análise crítica e trabalho em equipa.

Em conclusão, este trabalho evidencia que o investimento contínuo em metodologias de manutenção e na otimização de processos industriais é determinante para assegurar a competitividade, a sustentabilidade e a excelência operacional do setor de pasta de papel, servindo também como referência para futuras iniciativas de melhoria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afey, I. H. (2010). *Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study*. *Engineering*, 02(11), 863–873. <https://doi.org/10.4236/eng.2010.211109>
- Agustiady, T., & Cudey, E. A. (2023). *Total Productive Maintenance*. <https://doi.org/10.1201/9781003272168>
- Alcaraz, J. L. G., Robles, G. C., & Vargas, A. R. (2025). *Lean Manufacturing in Latin America* (J. L. García Alcaraz, G. C. Robles, & A. Realyvásquez Vargas, Eds.). Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-70984-5>
- Ali Azawqari, A., Badiea, A. M., Khalaf Albezuirat, M., Adel, A. A., & Albzeirat, M. K. (2020). *Techniques and Assessment of Lean Manufacturing Implementation: An Overview*. In *International Journal of Engineering and Artificial Intelligence* (Vol. 1, Issue 4). https://www.researchgate.net/publication/343795126_Techniques_and_Assessment_of_Lean_Manufacturing_Implementation_An_Overview#fullTextFileContent
- Alves, R., Kincheski, G. F., & Silva, V. R. (2017). *Aplicabilidade Da Matriz GUT Para Identificação Dos Processos Críticos: O Estudo De Caso Do Departamento De Direito Da Universidade Federal De Santa Catarina*. https://www.academia.edu/116379137/Aplicabilidade_Da_Matriz_Gut_Para_Identificação_Dos_Processos_Críticos_O_Estudo_De_Caso_Do_Departamento_De_Direito_Da_Universidade_Federal_De_Santa_Catarina
- Anoop, G. M., & Muhammed, V. S. (2020). *A Brief Overview on Toyota Production System (TPS)*. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 8(5), 2505–2509. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.5415>
- Assis, R. (2015). *Quantidade ideal de componentes rotáveis a manter em stock*. https://rassis.com/artigos/Manutencao/Artigo_Rui%20Assis_Congresso_APMI%202015.pdf
- Banghart, M., Babski-Reeves, K., Bian, L., & Strawderman, L. (2018). *Subjectivity in failure mode effects analysis (FMEA) severity classification within a Reliability Centered Maintenance (RCM) context*. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 5(1). <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2018.1191>
- Baran, L. R., Trojan, F., Kovaleski, J. L., & Piechinicki, A. S. (2013). *Métodos e Ferramentas aplicados na Análise de Criticidade em Sistemas Industriais* *Methods and tools applied in the Criticality Analysis Industrial Systems*.

<http://anteriores.aprepro.org.br/combreprou/2013/anais/artigos/gestaoproducao/20.pdf>

- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). *Lean manufacturing: Literature review and research issues*. In *International Journal of Operations and Production Management* (Vol. 34, Issue 7, pp. 876–940). Emerald Group Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>
- Cabral, J. P. S. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção: Dos Conceitos à Prática*. 5ª Edição. Lisboa: Lidel Edições Técnicas.
- Celbi. (2025). *Apresentação Empresa*. Retirado a 2 de fevereiro de 2025. <https://celbi.pt/pt/press/apresentacao-empresa>
- Celbi. (2025). *Empresas do Grupo*. Retirado a 2 de fevereiro de 2025. <https://celbi.pt/pt/o-grupo/empresas-do-grupo>
- Celbi. (2025). *Energia*. Retirado a 2 de fevereiro de 2025. <https://celbi.pt/pt/o-nosso-produto/energia>
- Celbi. (2025). *Produção de Pasta*. Retirado a 2 de fevereiro de 2025. <https://celbi.pt/pt/o-nosso-produto/producao>
- Celbi. (2025). *Quem Somos*. Retirado a 2 de fevereiro de 2025. <https://celbi.pt/pt/celbi/quem-somos>
- Cheah, C. K., Prakash, J., & Ong, K. S. (2020). *An integrated OEE framework for structured productivity improvement in a semiconductor manufacturing facility*. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 69(5), 1081–1105. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2019-0176>
- Chen, Y., & Li, H. (2019). *Research on Engineering Quality Management Based on PDCA Cycle*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 490(6). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/490/6/062033>
- Cheng, T. (2005). *A Critical Discussion on Bath-tub Curve*. https://www.researchgate.net/publication/228749043_A_Critical_Discussion_on_Bath-tub_Curve
- Čiarnienė, R., & Vienažindienė, M. (2012). *Lean manufacturing: theory and practice*. *Economics and management*, 17(2). <https://doi.org/10.5755/j01.em.17.2.2205>
- Coccia, M. (2017). *The Fishbone diagram to identify, systematize and analyze the sources of general purpose technologies*. <https://doi.org/10.1453/jsas.v4i4.1518>
- Crespo, A., Sola, A., Moreu, P., Gómez, J. F., de la Fuente, A., Guillén, A., & González-Prida, V. (2018). *Criticality Analysis for improving maintenance, felling and pruning cycles in power lines*. 51(11), 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.262>

- Department of Defense. (1998). *Military handbook electronic reliability design handbook*.
- Fernandes, F. A., & Sousa, S. D. (2013). *On the use of quality tools: A case study*. https://www.researchgate.net/publication/288822431_On_the_use_of_Quality_Tools_a_case_study/stats
- Forlogic, G. (2016,). *Diagrama de Pareto. Ferramentas de Qualidade*. Retirado a 15 de novembro de 2025. <https://ferramentasdaqualidade.org/diagrama-de-pareto/>
- Freitas, I. (2018). *Redução de Quebras de Materiais de Embalagem numa Indústria Cervejeira*.
- García-Alcaraz, J. L., Díaz Reza, J. R., Sánchez Ramírez, C., Limón Romero, J., Jiménez Macías, E., Lardies, C. J., & Rodríguez Medina, M. A. (2021). *Lean manufacturing tools applied to material flow and their impact on economic sustainability. Sustainability (Switzerland)*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/su131910599>
- Gomes, M., Andrade, P. C., & Costa, T. (2018). *Análise de indicadores de desempenho da manutenção de um moinho de bolas. Revista Thema*, 15(3), 1089–1103. <https://doi.org/10.15536/thema.15.2018.1089-1103.910>
- Gupta, S., & Jain, S. K. (2013). *A literature review of lean manufacturing. International Journal of Management Science and Engineering Management*, 8(4), 241–249. <https://doi.org/10.1080/17509653.2013.825074>
- Hashim, H., & Alsalman, H. (2022). *Visual Management and its Impact on Reducing Wastage (3M) According to the Perspective of the Agile 7S Methodology: An Applied Study in Al-Rayan Company*. <https://doi.org/10.4108/eai.7-9-2021.2315372>
- Hassan, A. Ben, & Abdul-Kader, W. (2020). *Short-Term TPM Implementation in SME: A Case Study*. https://www.academia.edu/71516131/Short_Term_TPM_Implementati_on_in_SME_A_Case_Study
- Hedman, R., Subramaniyan, M., & Almström, P. (2016). *Analysis of Critical Factors for Automatic Measurement of OEE. Procedia CIRP*, 57, 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.023>
- Hicks, B. J. (2007). *Lean information management: Understanding and eliminating waste. International Journal of Information Management*, 27(4), 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2006.12.001>
- Hossen, J., Ahmad, N., & Ali, S. M. (2017). *An application of Pareto analysis and cause-and-effect diagram (CED) to examine stoppage losses: a textile case from Bangladesh. Journal of the Textile Institute*, 108(11), 2013–2020. <https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1308786>

- Jacobson, G. H., McCain, N. S., Lescalette, R., Russ, S., & Slovis, C. M. (2009). *Kaizen: A method of process improvement in the emergency department*. In *Academic Emergency Medicine* (Vol. 16, Issue 12, pp. 1341–1349). <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2009.00580.x>
- Josebeck, G., & Gowtham, A. (2022). *Demystifying the P-F Curve & Augmenting Machine Learning for Maintenance Optimization*. *Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 2022-January. <https://doi.org/10.1109/RAMS51457.2022.9893991>
- Viana, G. O., Rosário, D., Sobrinho, D., Abreu, J. N. (2017). *Análise da Confiabilidade de um Turbogenerador Via Dados Experimentais de Tempos de Falha*. <https://doi.org/10.21575/25254782rmetg2017vol2n1287>
- Vyas, K. C. (2011). *Toyota Production System*.
- Khalil Ur, R., Mian, Z., & Yasir, A. (2023). *WITHDRAWN: Implementation of Reliability Centered Maintenance (RCM) in the background of industry 4.0 –Issues, Challenges, and Opportunities*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3053231/v1>
- Liliana, L. (2016). *A new model of Ishikawa diagram for quality assessment*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012099>
- Lima, N. F. (2019). *Metodologia Kaizen-Lean e Indústria 4.0 na Manutenção*. <http://hdl.handle.net/10400.22/15645>
- Magistro, A. E., & Seggel, L. R. (1975). *ROOT CAUSE ANALYSIS - A DIAGNOSTIC FAILURE ANALYSIS TECHNIQUE FOR MANAGERS*. https://www.researchgate.net/publication/235183435_Root_Cause_Analysis_-_A_Diagnostic_Failure_Analysis_Technique_for_Managers
- Majka, M. (2024). *Root Cause Analysis*. <https://www.researchgate.net/publication/384965537>
- Manutenção n°163. (2024). *PUBLINDUSTRIA*. <https://www.apmi.pt/RevistaManutencao>
- Martins, F. R., & Rosa, A. G. (2022). *Planejamento de Manutenção Preventiva: Um Estudo de Caso Publicação*.
- Mobius Institute. (2005). *Manual do Curso Técnico “Analista de Vibrações - Categoria II.”* Specman.
- Mobius Institute. (2021). *Asset Reliability Practitioner - Enginner [ARP-E]*.
- Mulya, N. P. (2023). *Machine Maintenance Scheduling Design Using Reability Centered Maintenance (RCM) method and Maintenance Value Stream Mapping (MVSM) at*

- XYZ. *International Journal of Economics (IJECE)*, 2(1), 87–101.
<https://doi.org/10.55299/ijec.v2i1.430>
- Nafea, N. M. M., & Khayal, O. M. E. S. (2021). *Reliability Analysis in Cement Mills of Berber Cement Factory*.
<https://doi.org/10.33564/IJEAST.2021.v06i04.005>
- NASA. (2008). *RCM GUIDE RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE GUIDE For Facilities and Collateral Equipment DRAFT National Aeronautics and Space Administration*.
<https://www.nasa.gov/fred/documents/operations-and-maintenance/>
- Nguyen, V., Nguyen, N., Schumacher, B., & Tran, T. (2020). *Article practical application of plan-do-check-act cycle for quality improvement of sustainable packaging: A case study. Applied Sciences (Switzerland)*, 10(18).
<https://doi.org/10.3390/APP10186332>
- Nowlan, F. S., & Heap, H. F. (1978). *Reliability-Centered Maintenance*.
- Nurprihatin, F. (2019). *Total Productive Maintenance Policy to Increase Effectiveness and Maintenance Performance Using Overall Equipment Effectiveness*.
<https://doi.org/10.22105/jarie.2019.199037.1104>
- Oliveira, A. R. de, & Conti, T. D. N. (2023). *A IMPORTÂNCIA DO INTERVALO P-F NA MANUTENÇÃO DOS CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO DO REATOR IEA-R1. Revista Internacional de Ciências*, 13(1), 30–40. <https://doi.org/10.12957/ric.2023.69813>
- Omogbai, O., & Salonitis, K. (2017). *The Implementation of 5S Lean Tool Using System Dynamics Approach. Procedia CIRP*, 60, 380–385.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.057>
- Pacana, A., & Siwiec, D. (2020). *Improving the process of analysing the causes of problem by integrating the Ishikawa diagram and FAHP method. Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series*, 2020(143).
<https://doi.org/10.29119/1641-3466.2020.143.20>
- Palanisamy, V., & Ananth Vino, J. (2013). *Implementing Overall Equipment Effectiveness in a Process Industry*. DOI: 10.17485/ijst/2013/v6isp6.17
- Patil, B. B, Badiger, A. S., Mishrikoti, A. H. (2018). *A Study on Productivity Improvement through Application of Total Productive Maintenance in Indian Industries - A Literature Review*. DOI: 10.9790/1684-1503041323
- Reliance. (2025). *Vibration Analysis (IOT Cloud, On-line, Hand Held)*. Retirado a 10 de dezembro de 2025. <https://reliance.ie/en-ie/vibration-analysis>

- Rivera, A. A. (2020). *Estudio de la irrupción de la Industria 4.0 en la metodología Lean Manufacturing*. <https://www.researchgate.net/publication/340094110>
- SAE JA1012. (2002). *A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard*.
- Santos, A. P., Vitor, J., Pozzetti, T., Vieira De Moraes, P. A., & Avelino, C. H. (2020). *Utilização da ferramenta Diagrama de Pareto para auxiliar na identificação dos principais problemas nas empresas. Using the Pareto Diagram tool to help identify key business issues*. <https://unisaesiano.com.br/aracatuba/wp-content/uploads/2020/12/Artigo>.
- Santos, M. (2023). *Avaliação e Gestão da Fiabilidade em Manutenção*. (Doctoral dissertation, INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA).
- Saxena, M. M. (2022). *Total productive maintenance (TPM); as a vital function in manufacturing systems*. *Journal of Applied Research in Technology & Engineering*, 3(1), 19–27. <https://doi.org/10.4995/jarte.2022.15934>
- Sayuti, M., Juliananda, Syarifuddin, & Fatimah. (2019). *Analysis of the Overall Equipment Effectiveness (OEE) to Minimize Six Big Losses of Pulp Machine: A Case Study in Pulp and Paper Industries*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 536(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012061>
- Schaeffler Group. (2023). *Condition Monitoring Handbook* (1^a ed.). Schaeffler Monitoring Services GmbH.
- Schaeffler Singapore. (2021). *Optime. Condition Monitoring – for all assets*. Retirado a 20 de janeiro de 2025. <https://www.schaeffler.sg/en/products-and-solutions/industrial/industrial-blogs/optime/>
- Schaeffler Technologies AG & Co. KG. (2025). *OPTIME Ecosystem*. Retirado a 21 de janeiro de 2025. <https://medias.schaeffler.de/en/monitor/optime-ecosystem>
- Sifonte, J. R., & Reyes-Picknell, J. V. (2017). *Reliability Centered Maintenance-Reengineered Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R* ®. <https://doi.org/10.1201/9781315207179>
- Silva, J. (2015). *Definition of maintenance policies in power systems using a sequential Monte Carlo*. *U.Porto Journal of Engineering*, 1(1), 122–137. https://doi.org/10.24840/2183-6493_001.001_0012
- Simões, J. M., Gomes, C. F., & Yasin, M. M. (2011). *A literature review of maintenance performance measurement: A conceptual framework and directions for future research*. In *Journal of Quality in Maintenance Engineering* (Vol. 17, Issue 2).

- <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1926752&show=abstract>
- Singh, J., & Singh, H. (2015). *Continuous improvement philosophy – literature review and directions. Benchmarking*, 22(1), 75–119. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2012-0038>
- Singh, J., Singh, H., & Sharma, V. (2018). *Success of TPM concept in a manufacturing unit – a case study. International Journal of Productivity and Performance Management*, 67(3), 536–549. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2017-0003>
- Soares, F. da S. (2015). *Introdução da Manutenção Preventiva Sistemática nos SASUC* (Master's thesis).
- Sobral, J. A. da S. (2010). *Utilização da Metodologia “RAMS” na Análise de Barreiras de Segurança de Instalações Industriais de Risco Elevado*.
- Stefanovic, S., Kiss, I., Stanojevic, D., & Janjic, N. (2014). *Analysis of Technological Process of Cutting Logs Using Ishikawa Diagram*. <http://acta.fih.upt.ro/pdf/2014-4/ACTA-2014-4-15.pdf>
- Tari, J. J., & Sabater, V. (2004). *Quality tools and techniques: Are they necessary for quality management?* <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.10.018>
- Trucolo, A. C., Talaska, T. T. R., Assumpção, V. T., & Filho, J. G. A. C. (2016). *Matriz GUT para Priorização de Problemas – Estudo de Caso em Empresa de Setor Elétrico*. *Revista Tecnológica / ISSN 2358-9221*, 5(2), 124–134
- Tyasti, A. E., & Caraka, R. E. (2017). *A Preview of Total Quality Management (TQM) in Public Services*. https://www.researchgate.net/publication/319549724_A_Preview_of_Total_Quality_Management_TQM_in_Public_Services
- Valério, M. F., & Nunes, I. L. (2017). *Total productive maintenance implementation. A way to improve working conditions. Occupational Safety and Hygiene V - Proceedings of the International Symposium on Occupational Safety and Hygiene, SHO 2017*, 375–380. <https://doi.org/10.1201/9781315164809-69>
- Vita, R. O. (2020). *A Comparison of Machine Learning and Deep Learning in Useful Life Prediction* (Master's thesis, Universidade do Porto (Portugal)).
- Wahab, A. N. A., Mukhtar, M., & Sulaiman, R. (2013). *A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. Procedia Technology*, 11, 1292–1298. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.327>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). *Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148–1148. <https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>

Yadav, O. P., Nepal, B., Goel, P. S., Jain, R., & Mohanty, R. P. (2010). *Insights and learnings from lean manufacturing implementation practices. International Journal of Services and Operations Management*, 6(4), 398–422. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2010.032916>

Zasadzień, M. (2014). *Management Systems in Production Engineering USING THE PARETO DIAGRAM AND FMEA (FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS) TO IDENTIFY KEY DEFECTS IN A PRODUCT*. <https://doi.org/10.12914/MSPE-02-04-2014>

ANEXOS

Anexo A - Organização da Celbi por Zonas

Zona 1	Localização	Descrição
	100	Fábrica Geral
111	Área da Fábrica	
121	Terrenos e Estradas	
131	Esgotos e Efluentes	
132	Aterro Controlado	
133	Compostagem	
135	Emissário Submarino	
141	Proteção Contra-Incêndios	
200	Produção Geral	
211	Escritório, Laboratório e Cantina	
221	Armazém Geral	
230	Escritórios da Produção e Manutenção	
231	Oficina Mecânica	
232	Oficina Elétrica	
233	Oficina Conservação Instrumentos	
234	Oficina Civil	
235	Pintura	
236	Oficina Conservação Plástica	
237	Oficina Conservação Eletrónica	
238	Oficina Auto	
262	Abastecimento de Gás Natural	
271	Abastecimento e Distribuição de Águas	
281	Auxiliares Central de Energia	
283	Caldeira Auxiliar	
284	Recepção e Armazenagem de Biomassa	
285	Caldeira e Biomassa	
286	Recepção e Armazenagem Biomassa SBM	
287	Caldeira de Biomassa SBM	
291	Produção Distribuição Energia - BT	
293	Distribuição de Energia - MT	
294	Turbogerador Nº 4	
295	Turbogerador Nº 5	
296	Turbogerador Nº 6	
297	Turbogerador Nº 7	
452	Evaporação	
463	Caldeira de Recuperação	
471	Caustificação	
482	Forno da Cal	

Zona 2	Localização	Descrição
	311	Manuseamento e Armazenagem de Madeira
323	Descasque Madeira Tratamento Resíduos	
324	Preparação de Madeiras - Linha 5	
325	Recepção e Armazenagem de Aparas	
326	Preparação de Madeiras - Linha 6	

Zona 3	Localização	Descrição
	412	Digestor
413	Digestor de Serradura	
421	Lavagem, Crivagem, Deslenhificação e Oxigénio	
432	Branqueamento	
611	Soda Cáustica	
621	Dióxido de Cloro	
631	Hipoclorito de Sódio	
641	Oxidação de Licro Branco	
651	Oxigénio (Ar Líquido)	
661	Peróxido de Hidrogénio e EDTA	
812	Geral Depuração de Pasta	
852	Máquina de Secagem	
871	Cortadeira / Máquina Unificar	
873	Linha de Acabamentos Nº 3	
874	Linha de Acabamentos Nº 4	
875	Linha de Acabamentos Nº 5	
891	Armazenagem de Pasta	
892	Lamas, Lixeira e Nós	

Anexo B - Ordem de Execução

Ordem de execução - menu principal

The screenshot displays the main menu for an Order Execution (Ordem de Execução) in an IBM system. The interface is organized into several sections:

- Top Navigation:** Includes 'Ordens de Execução' and 'Ordens de Execução' tabs, along with various icons for navigation and actions.
- Form Fields:**
 - Ordem Execução:** 31232022
 - Ordem SAP:** 50902192
 - Localização:** M21 - 8112.50
 - Equipamento:** 50GR0035
 - Cod. Arqto:** [Empty]
 - Início Paragem:** [Empty]
 - Fin Paragem:** [Empty]
 - Registado Por:** 309097
 - Data Registo:** 11.02.2025 3:42
 - Requisitado Por:** 301453
 - Contacto:** 44241
 - Situação:** EXEC
 - Data Situação:** 11.02.2025 15:22
 - Data Alteração:** 17.02.2025 16:43
 - Alterado por:** 301711
- Operational Details:**
 - Gravada alterações e estado no crivo:** [Empty]
 - Crivo:** 3
 - Área:** IET
 - Comissão:** [Empty]
 - Probabilidade de Falha:** [Empty]
 - Equipamento activo?**
 - Eq. Parado?**
 - Equip. Sob Garantia?**
 - Data Garantia:** [Empty]
 - OE Pa:** [Empty]
 - E Tarefa?**
 - Alterar OE Fibra?**
 - Debitar do Almoentado?**
- Classification and Tracking:**
 - Classificação de Avento:** Type: [Empty], System: [Empty]
 - Seguimento OT:** OE / RT - Origin: R1253330, N.º Fornecedor Interno: [Empty], Turno pode ser interrompido: [Empty], In Manutenção?
- Work Plan and Results:**
 - Detalhes do Trabalho:** Plano de Trabalho, Plano de Manutenção, Plano de Segurança, Formulário de Inspeção, Resultado de Inspeção, Total Work Units: 1.00
 - Observações:** Tempo Paro, Promoção Daniel Jordão, João Costa, Bruno Rocha
- Responsibility and Information:**
 - Responsabilidade:** Grupo Responsável: 1003-SMM-23, Responsável: [Empty]
 - Informações sobre a Programação:** Objectivo - Início, Objectivo - Fim, Programado - Início, Programado - Fim
 - Condição de percentual por horas trabalhadas:** [Empty]
 - Condição de percentual por tarefas concluídas:** [Empty]

Anexo C - Requisição de Trabalho

Requisição de trabalho - menu principal

Requisição de Trabalho

Localizar N.º Requisição de Trabalho

Localizar Item de Navegação

Consultas Disponíveis

- Todos os Registos
- Todos os Marcadores
- All Services Requests
- Requisições de Trabalho a execu...
- RT - Operador Descargas
- RT - RTV (396010)
- RT - Sala Controlo DLE
- RT DPP Pulvop Onap
- RT DPP Pulvop Onap REG
- RT - MAQ SECAGEM - AUT_111
- Req. Trabalho of Prior. Assignaçã...
- Req. Trabalho Activas do Site
- RT Copch Maq Secagem

Ações Comuns

- Limpar Alterações
- Meas Ações
- Visualizar Histórico
- Adicionar a Marcadores
- Filtra de Trabalho
- Escutar Relatórios

Lista | **Requisição de Trabalho** | **Relatório/Comentários** | **Endereço de Serviço** | **Mapa**

N.º Requisição de Trabalho: RT253330 | Situação: AUT_111 | Sêc: 1003

Dados do Registo Requisitante

Data de Registo: 11-02-2025 3:25
 Registado Por: 396007
 Nome: Operator Chale da PPB
 Telefone:
 Endereço E-mail:

Dados da Requisição de Trabalho

Data de Registo: 11-02-2025 3:25
 Requisição Por: 391453
 Nome: Rodo Marques
 Telefone:
 Endereço E-mail:
 Serviço Emissor: DPP

Detalhes da Requisição de Trabalho

Descrição: Grandes vibrações e ruído no eixo
 Localização: MA21 - 8112.50
 Zona: 3
 Área: 421

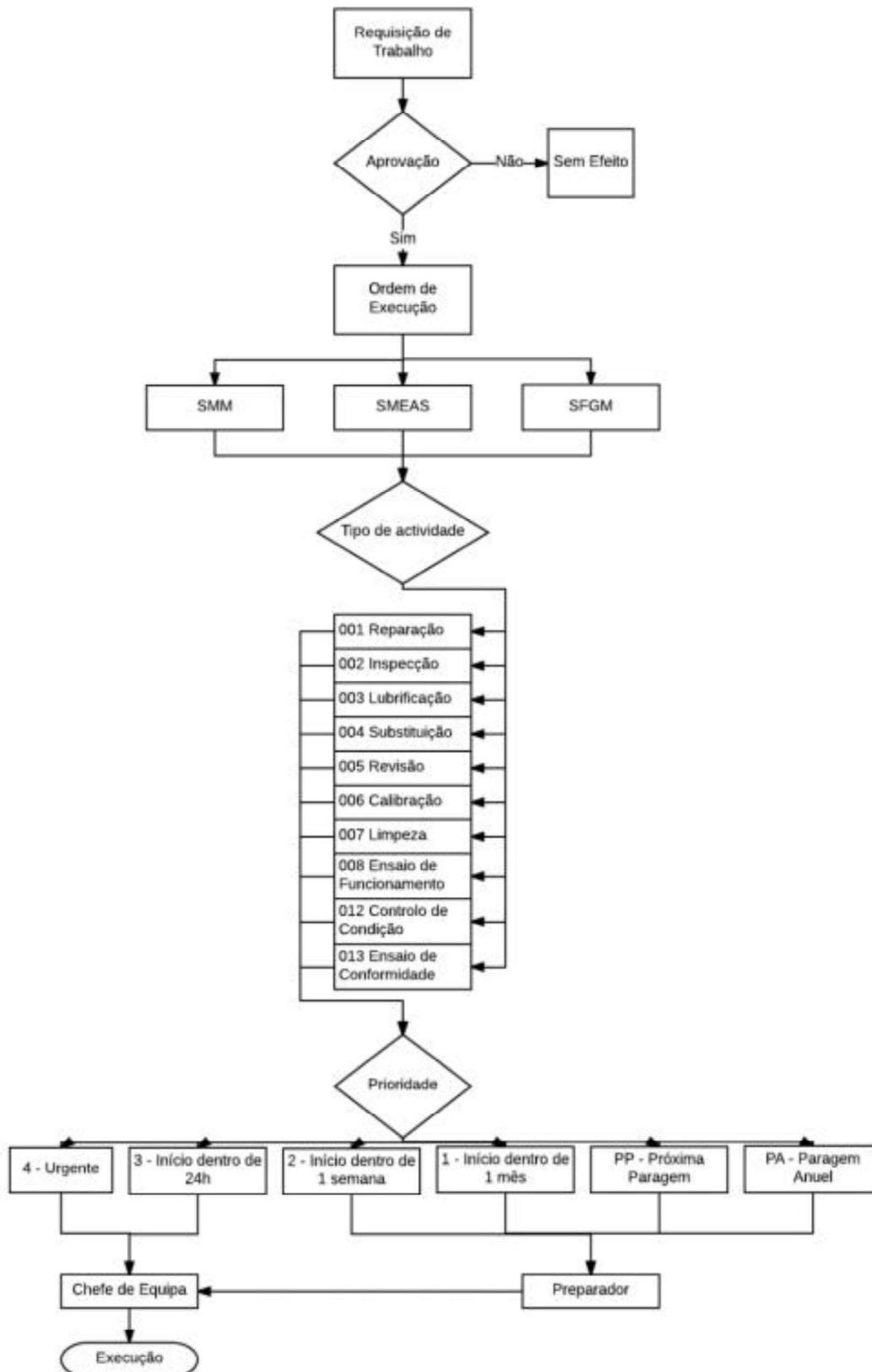
Equipamento: 30GR0035
 Eq. Parado?
 Início Paragem:

Filtros

Localização: SIMU - Manutenção Zona 3

Requisição Nível 0?
 Segurança?
 Qualidade?
 Ambiente?
 Acidentes?
 Kitzem?
 Prevenção / Ação?
 Área de Serviço Parada?
 Modos:

Anexo D - Fluxograma da RT à execução



Anexo E – Plano de Manutenção

Plano de manutenção – menu principal

The screenshot displays the IBM Maintenance Plan (MP) main menu. The interface is organized into several sections:

- Top Bar:** Includes the IBM logo, user name (Bianca B), and navigation links for 'Relatório', 'Perfil', 'Sair', and 'Ajuda'.
- Navigation Menu (Left):** Contains options like 'Localizar MP', 'Planos de Manutenção', 'Atividade', 'Histórico de MP', 'Relatório de MP', 'Planos de Manutenção com Erros', 'Planos de Manutenção sem Freqüência', 'Planos de Manutenção com Data Vencida', 'Ações Comuns', 'Novo MP', 'Editar MP', 'Limpar Alterações', 'Alterar Status', 'Citar o Recebido', and 'Mais Ações'.
- Main Content Area:**
 - MP Details:** Shows 'MP: PM13-305F-0009', 'MP Mês: 380039', and 'Alterado Por: 380043'. It includes fields for 'Data Criação' (31/01/2025 14:51) and 'Alterado em' (07/03/2025 10:28).
 - Operational Data:** Fields for 'Local' (M234...), 'Ativo' (0020.50), 'Rota', and 'Plano de Trabalho' (P133-305F-0005).
 - Informational Fields:** 'Tipo Trabalho' (022), 'Prioridade' (Sistêmica), 'Inspeção', 'Código Planejamento' (2), 'Prioridade PP / PA', and 'Requer Tempo de Inatividade do Ativo?'.
 - Responsibility:** 'Serviço Emissor' (SMA-Z1), 'Serviço Destino' (SMA-Z1), and 'Grupo de Serviços da Equipe'.
 - Additional Info:** 'Situação Ont' (Execução), 'Pode Ser Interrompido?', 'Última Data de Início', 'Última Data de Conclusão', 'Data de Vencimento das Peças', and 'Destacamento de Realização de Início'.
 - Footer Info:** 'Centro Custo' (Arrendar), 'Site do Armazém' (1000), and 'Del. Formação e Ocorrências'.

Planos de manutenção - menu da frequência

Localizar MP:

Localizar Item de Navegação:

Localizar Aplicativos:

Consultas Disponíveis: Todos os Registros, Todos os Marcadores, Planos de Manutenção com Erros, Planos de Manutenção sem Frequência, Planos de Manutenção com Data Vencida.

Ações Comuns: Nova MP, Alterar MP, Limpar Alterações, Alterar Status, Criar o Relatório.

Menu Ações: Visualizar Sequência, Gerar Ordem de Serviço, Definir Contador de MP, Definir Leitura na Última OS, Gerar Previsão, Excluir Previsão, Demarcar Nova Previsão Pendente, Bloquear Datas de Previsão, Desbloquear Datas de Previsão, Biblioteca/Planos de previsão, Duplicar MP, Excluir MP, Adicionar e Marcadores, Associar Fuso Horário, Executar Relatórios.

MP: **PM13-GSF-0009**

Lista: MP

Preventiva - Sem-fim do ato de biomassa - GRV

Ordem Execução Ativas

Hierarquia de MP

Previsão

Custo de previsão

Situação: **DRAFT**

Há Previsão?

Site: **1003**

Informações de Geração de Ordem de Serviço

Data Fixa marcado / Data Variável (não marcado)?

Gerar OE com Base na Leitura do Medidor (Não Estimar)?

Gerar OE Quando se Alinge a Frequência do Medidor?

Frequência Baseada em Tempo: Frequência Baseada em Medidores

* Frequência: **2**

* Unidades Frequência: **SEMANAS**

Próxima Data de Vencimento Estimada:

Signal de Alerta (Dias): **0**

Horário de Início Previsão: **0:00**

Ajustar Próxima Data de Vencimento?

Data Promotora:

Anexo F - Características dos dois Sensores

Application	Characteristic	Sensor	Number	Mounting location
Electric motor	< 0,5 m	OPTIME 3	1	<ul style="list-style-type: none"> • Bearing position on the drive side of the motor • Central on the engine • In the middle at the foot of the motor
Electric motor	> 0,5 m	OPTIME 3	2	<ul style="list-style-type: none"> • Drive side and non-drive side of the motor • Foot from drive side and non-drive side of the motor
Fan	overhang	OPTIME 3	1	<ul style="list-style-type: none"> • Plummer block housing
Fan	between the bearing	OPTIME 3	2	<ul style="list-style-type: none"> • Plummer block housing
Fan	directly coupled	OPTIME 3	1	<ul style="list-style-type: none"> • Drive side of the motor
Compressor	–	OPTIME 5	2	<ul style="list-style-type: none"> • Bearing location
Pillow block	–	OPTIME 3	1	<ul style="list-style-type: none"> • Bearing location
Pump	–	OPTIME 5	2	<ul style="list-style-type: none"> • Bearing location
Gear motor	< 0,5 m	OPTIME 5	1	<ul style="list-style-type: none"> • Bearing location
Gear motor	> 0,5 m	OPTIME 3	1	<ul style="list-style-type: none"> • Motor
Gear motor	> 0,5 m	OPTIME 5	1	<ul style="list-style-type: none"> • Gearbox
Extruder	–	OPTIME 3	2	<ul style="list-style-type: none"> • Bearing location
Calander	–	OPTIME 3	2	<ul style="list-style-type: none"> • Bearing location
Belt drive	–	OPTIME 3	2	<ul style="list-style-type: none"> • Bearing location
Saw	–	OPTIME 5	1	<ul style="list-style-type: none"> • Bearing position of the saw blade
Shaft	–	OPTIME 3	1	<ul style="list-style-type: none"> • Bearing housing
Gearbox	–	OPTIME 5	2	<ul style="list-style-type: none"> • Input and output

Colaboração no Departamento de Manutenção de uma Empresa de Pasta de Papel

OPTIME sensors	OPTIME-3 	OPTIME-5 
Vibration bandwidth	2 Hz – 3 kHz	2 Hz – 5 kHz
Amplitude range	$\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g	$\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g
Temperature trend measurement	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C
Calculated KPIs	RMS _{Low} , Kurtosis _{Low} , ISO _{VELOCITY} , RMS _{High} , Kurtosis _{High} , DeMod, Temperature	RMS _{Low} , Kurtosis _{Low} , ISO _{VELOCITY} , RMS _{High} , Kurtosis _{High} , DeMod, Temperature
Measurement cycle	KPIs: every 4 h Time waveform: every 24 h	KPIs: every 4 h Time waveform: every 24 h
Typical target applications	Motors, generators, fans, pillow block bearings, up to 3.000 rpm	Pumps, geared motors and small gearboxes, compressors, HVACs etc., up to 5.000 rpm
Sensor commissioning	NFC (Near Field Communication)	NFC (Near Field Communication)
Communication	Wirepas Mesh (2.4GHz ISM Band)	Wirepas Mesh (2.4GHz ISM Band)
Sensor transmission range (line of sight)	up to 100 m	up to 100 m
Power supply	Non-replaceable Li-SOCl ₂ battery	Non-replaceable Li-SOCl ₂ battery
Typical battery life	up to 5 years (depending on configuration)	up to 5 years (depending on configuration)
Operating temperature range	-40° to +85°C	-40° to +85°C
Recommended storage temperature (for optimum battery life)	0° to 30°C	0° to 30°C
Ingress protection	IP 69K	IP 69K
Materials	Mounting base: steel AISI 316, housing: Polycarbonate	Mounting base: steel AISI 316, housing: Polycarbonate
Mounting	Single Bolt Mounting (M6) (Adapters available)	Single Bolt Mounting (M6) (Adapters available)
Dimensions	Please see drawings	
Certifications	CE, FCC, IC, RCM, Anatel, NTC, NBTC, SIRIM, WPC, SRRC; further country certifications to follow	
Hazardous Area Classification	Zone 1 (In planning)	Zone 1 (In planning)

OPTIME Gateway

Sensor communication	Wirepas Mesh (2.4GHz ISM Band)
Communication to Schaeffler IoT Hub	2G, LTE CAT M1 (default) LTE-Stick: GSM, UMTS, LTE Wi-Fi 2.4GHz, Ethernet RJ45
SIM card format	Micro-SIM (3FF)
Ingress Protection	IP 66/67
Temperature range	-20°C to 50°C (operation), -40°C to 85°C (storage)
Power supply	Voltage Range 85-264VAC, 47-440Hz, Power Consumption 30VA max.
Dimensions	Please see drawings
Certifications	Europe: CE (Radio Equipment Directive 2014/53/EU), further certificates -> see sensor above

Anexo G - Relatório 3C

Relatório 3C - representação do Problema e da Causa



1. Problema | Caso

Descrição: Tem-se registado desalinhamento frequentes nas bombas de aparas e um número anormal de falhas nas componentes das bombas, devidamente nos rolamentos, elementos elásticos, unidades rotativas, rotores e retentores.

Área: 412

Equipamentos: Bomba de aparas 412-304/305/306.

Ocorrências:

Bomba de aparas	2024	2023	2022
412-304	3		1
412-305	11		6
412-304	11		6

2. Causa do Problema | Causa



Relatório 3C - representação das Contramedidas e das Verificações

3. Plano de Ações | Contramedida

#	AÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA FIM	OBSERVAÇÕES
1	Estudo de amplificação de movimentos		19-11-2024	Fragilidades na constituição das bombas
2	Reforço das bases (PP Jan 25)		14-01-2025	412-306 reforço completo da base 412-304 está parcialmente reforçada (as bases estão montadas, mas ficaram apenas pingadas)
3	Alteração do elemento elástico (PP Jan 25)		14-01-2025	Troca do elemento elástico amarelo pelo laranja
4	Reforço das bases (PP Jan 25)		08-07-2025	412-304 termino do reforço da base 412-305 reforço da base
5	Reestudo de amplificação de movimentos		- -2025	Verificar se as vibrações nas bombas ainda predominam
6				
7				
8				
9				

4. Verificação de Soluções

Resultado da Amplificação de Movimentos

Bomba de aparas			
412-304			
412-305			
412-306			

5. Anexos

Imagens das bombas antes e depois das ~~PPs~~ de 2025

3C | Bomba de ~~Apapas~~

2

Relatório 3C - representação dos Anexos

Bomba de aparas antes das PPs

- 412-304;



- 412-305;



- 412-306;



Bomba de aparas depois das PPs de 2025

- 412-304;

- 412-305;

- 412-306;



Vídeos de Amplificação de Movimentos 22

Bomba 412-304

Apresentar os vídeos da Amplificação de Movimento que demonstra a fragilidade das bases das bombas de aparas, zonas (motor, acoplamento, bomba);

Bomba 412-305

Apresentar os vídeos da Amplificação de Movimento que demonstra a fragilidade das bases das bombas de aparas, zonas (motor, acoplamento, bomba);

Bomba 412-306

Apresentar os vídeos da Amplificação de Movimento que demonstra a fragilidade das bases das bombas de aparas, zonas (motor, acoplamento, bomba);

Tabela do histórico de substituições

Histórico de substituições na bomba 412-304

Localização 412-304												
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total	MTBF (dias)
Unidade Rotativa				1		1	1				3	564
Elemento Elástico	1			1		2	1			1	6	650
Rotor				1				1		1	3	1077
Rolamento				1			1				2	1150
Retentor Mecânico				1			1			1	3	1081
Retentor DiN				1			1				2	1150
Total geral											19	945

Histórico de substituições na bomba 412-305

Localização 412-305												
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total	MTBF (dias)
Unidade Rotativa			1		1		1	1		2	6	572
Elemento Elástico			2				2	1		2	7	469
Rotor			1		1			1		1	4	781
Rolamento			1	1	1		1	1		2	6	539
Retentor Mecânico			1	1	1		1	1		2	6	543
Retentor DiN			1		1		1	1		2	6	539
Total geral											35	574

Histórico de substituições na bomba 412-306

Localização 412-306												
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total	MTBF (dias)
Unidade Rotativa			2	1	2	2		1		1	9	330
Elemento Elástico		1		1	3	2	2	1		7	17	181
Rotor				2	1	3		1			7	283
Rolamento				1	1	2		1		1	6	461
Retentor Mecânico				1	1	2		1		1	6	476
Retentor DIN				1	1	2		1		1	6	461
Total geral											51	365

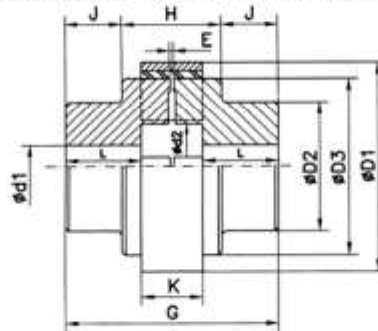
Tabela dos elementos elásticos

QUALITY	REF.	HARDNESS	COLOUR	TEMP. RATING
STANDARD	STD	80 Shore A	CLEAR	-40 / 80° C
		90 Shore A	BLUE	
		95 Shore A	YELLOW	
HIGH TEMP.	HT	95 Shore A	ORANGE	-40 / 140° C
HIGH PERFORMAN.	HD	97 Shore A	OCHRE	-40 / 80° C
	HDT	97 Shore A	RED	-40 / 140° C
	HR	65 Shore D	GREEN	-40 / 140° C

Tabela de tolerâncias de desalinhamento admissível em elemento elástico

MISALIGNMENT ADMISSABLE															
Assembly dimensions (E) and tolerances in mm															
Type	A00	A0	A1	A2	A3	A4	A45	A5	A55	A6	A7	A8	A9	A10	A11
E Assembly	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4	5	5	6	6
Axial X	+0,3	+0,3	+0,5	+0,5	+0,7	+0,8	+1,0	+1,0	+1,0	+1,0	+1,0	+1,5	+1,5	+2	+2
Radial Y	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40
Angular Z	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,50	0,60	0,90	1,10	1,30	1,70	1,70

Tabela de detalhes técnicos e de dimensões dos elementos elásticos



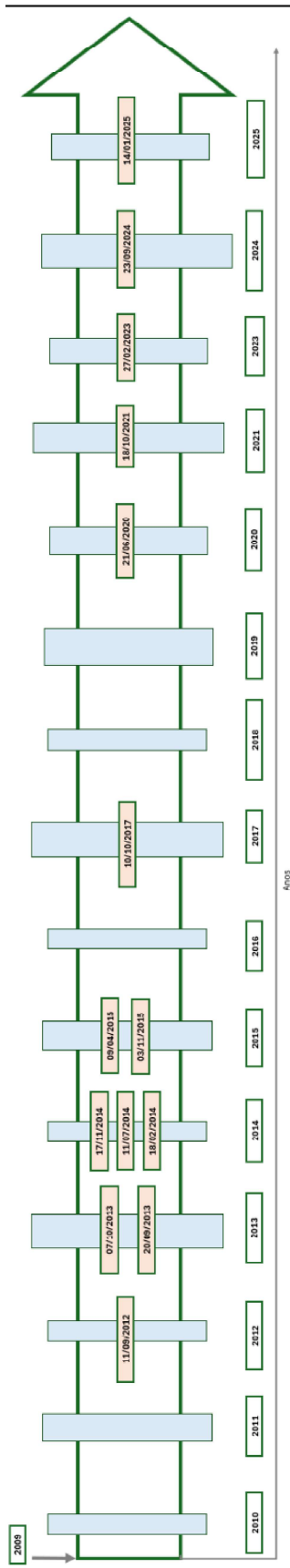
TECHNICAL DETAIL AND DIMENSIONS (mm.)																	
COUPLING TYPE	A00	A0	A1	A2	A3	A3B	A4	A4B	A45	A5	A55	A6	A7	A8	A9	A10	A11
NOMINAL KW PER 1.000 RPM	0,70	2	5,5	10,5	21	21	42	42	74	105	157	210	420	785	1.310	2.620	3.670
NOM. TORQUE (TKn) Nm	6,5	20	50	100	200	200	400	400	700	1.000	1.500	2.000	4.000	7.500	12.500	25.000	35.000
MAX. TORQUE (TKmax.) Nm	20	50	90	250	500	500	1.000	1.000	1.750	2.500	3.000	4.000	8.000	15.000	25.000	40.000	56.000
MAX. SPEED R.P.M.	9.000	9.000	8.000	6.500	4.800	4.800	3.500	3.500	3.100	2.900	2.600	2.500	2.200	1.850	1.600	1.250	1.250
TORSIONAL STIFFNESS (CT) $\frac{Nm}{rad}$	0,21	0,32	0,95	2,1	4,2	4,2	9,5	9,5	11,2	16	42	65	112	200	214	460	580
RELATIVELY DAMPING (V)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
MOMENT OF INERTIA J (Kg-m ²)	-	-	0,001	0,005	0,012	0,02	0,05	0,075	0,102	0,155	0,275	0,437	0,825	2,325	4,95	12	16
Weight Kg	0,2	1,0	1,8	3,8	6,2	6,5	12,5	16	19	26	36	47	74,5	137	218	350	410

COUPLING TYPE	A00	A0	A1	A2	A3	A3B	A4	A4B	A45	A5	A55	A6	A7	A8	A9	A10	A11
MAX. BORE d1	16	23	38	42	50	55	65	70	75	85	95	110	130	150	180	210	210
PRE BORE	4	8	14	17	19	19	24	24	25	29	30	39	48	63	73	96	96
G	51	73	91	127	156	156	180	180	198	218	246	260	310	382	420	482	512
L	19	28	34	47	56	56	63	63	70	77	90	95	116	147	162	188	190
d2	22	32	39	45	52	52	70	70	90	89	115	112	135	157	188	218	216
D1	44	65	83	111	144	144	182	182	202	225	250	265	306	363	425	523	503
D2	35	52	65	80	85	105	110	135	125	140	155	180	205	242	280	330	350
D3	35	52	65	86	116	116	150	150	170	190	215	233	267	326	385	483	458
K	12	16	22	32	42	42	51	51	56	59	64	67	75	85	92	102	128
J	-	-	-	36	45	45	47	47	52	57	68	70	88	114	129	145	148
H	-	-	-	55	65	65	85	85	93	101	109	119	134	154	162	192	216
E	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4	5	5	6	6

Anexo H - Registo Histórico do Raspador de Fundo

Sub-Ativ. 020750 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020751 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020752 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020753 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020754 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020755 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020756 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020757 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020758 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020759 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020760 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020761 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020762 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020763 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020764 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020765 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020766 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020767 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020768 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020769 - Equip. para Manutenção de Estradas		Sub-Ativ. 020770 - Equip. para Manutenção de Estradas			
Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade	Ano	Atividade
2010	Manutenção de Equipamento	2011	Manutenção de Equipamento	2012	Manutenção de Equipamento	2013	Manutenção de Equipamento	2014	Manutenção de Equipamento	2015	Manutenção de Equipamento	2016	Manutenção de Equipamento	2017	Manutenção de Equipamento	2018	Manutenção de Equipamento	2019	Manutenção de Equipamento	2020	Manutenção de Equipamento	2021	Manutenção de Equipamento	2022	Manutenção de Equipamento	2023	Manutenção de Equipamento	2024	Manutenção de Equipamento	2025	Manutenção de Equipamento	2026	Manutenção de Equipamento	2027	Manutenção de Equipamento	2028	Manutenção de Equipamento	2029	Manutenção de Equipamento	2030	Manutenção de Equipamento		
2010	Manutenção de Equipamento	2011	Manutenção de Equipamento	2012	Manutenção de Equipamento	2013	Manutenção de Equipamento	2014	Manutenção de Equipamento	2015	Manutenção de Equipamento	2016	Manutenção de Equipamento	2017	Manutenção de Equipamento	2018	Manutenção de Equipamento	2019	Manutenção de Equipamento	2020	Manutenção de Equipamento	2021	Manutenção de Equipamento	2022	Manutenção de Equipamento	2023	Manutenção de Equipamento	2024	Manutenção de Equipamento	2025	Manutenção de Equipamento	2026	Manutenção de Equipamento	2027	Manutenção de Equipamento	2028	Manutenção de Equipamento	2029	Manutenção de Equipamento	2030	Manutenção de Equipamento		

Anexo I – Representação Histórica das Substituições do Raspador de Fundo



Anexo K – Registo das Bombas de aparas

Ordem de execução	Descrição	Localização	Causas	Equipamento	Situação	Prioridade	Cód. Planeamento	Início Real	Duração
Localização 412-304									
31281605	Abiti para inspecionar bomba de aparas	M412--0304.50	Subst. rotor, EE e retentor	36B.0923	EXEC	2		23/09/2024	61
31506474	Desmontar aspiração (ruído)	M412--0304.50	Subst. junta	36B.0923	CUMP	4		24/07/2024	26
31204315	Válvula do crano de aspiração não opera	M412--0304.50	Reparação válvula		FECHE	3		28/06/2024	304
31271603	Válvulas fechadas estão a dar passagem.	M412--0304.50	Subst. retentor	36B.0923	EXEC	4	PP	29/08/2023	171
31265058	Fuga na aspiração da bomba	M412--0304.50	Subst. junta	36B.0923	FECHE	4		11/03/2023	14
31263976	Abiti para inspecionar bomba de aparas	M412--0304.50	Subst. rotor	36B.0923	FECHE	4	PA	25/02/2023	430
31231630	Reparar bomba de aparas	M412--0304.50	Subst. rolamentos, retentor, UR, rotor e superbolt	36B.0924	EXEC	2		22/12/2021	85
31273985	Abiti para inspecionar bomba de aparas	M412--0304.50	Subst. EE, acoplamento e UR	36B.0924	FECHE	2	PA	18/10/2021	391
31203270	Inspeção à bomba de aparas	M412--0304.50	Subst. EE	36B.0923	FECHE	2	PP	22/09/2020	93
31E5445	Substituir bomba de aparas	M412--0304.50	Subst. UR	36B.0924	FECHE		PA	21/06/2020	619
31486882	Substituir bomba de aparas - plano de substituição	M412--0304.50	Subst. UR	36B.0923	FECHE		PP	11/02/2018	1073
31083077	Abiti bomba de aparas para inspecção - ajustar folgas	M412--0304.50	Subst. EE	36B.0923	FECHE		PP	03/11/2015	
Localização 412-305									
Ordem de execução	Descrição	Localização	Causas	Equipamento	Situação	Prioridade	Cód. Planeamento	Início Real	Duração
31281607	Abiti para inspecionar/Subst bomba aparas	M412--0305.50	Subst. UR	36B.0925	EXEC	2	PA	23/09/2024	237
31287404	Substituir bomba aparas - UR completa	M412--0305.50	Subst. UR	36B.0943	FECHE		PP	30/01/2024	434
31251920	Fuga de água de selagem pelo retentor e lbum fuga de óleo	M412--0305.50	Subst. UR	36B.0925	FECHE		PP	22/12/2022	400
31273983	Abiti para inspecionar bomba aparas	M412--0305.50	Subst. EE, rotor e superbolt	36B.0924	FECHE		PA	18/10/2021	251
31204973	Fuga de óleo no suporte rolamentos lado da voluta	M412--0305.50	Subst. EE	36B.0923	FECHE	PP		09/02/2021	722
31E54514	Fuga de óleo no suporte rolamentos lado oposto ao acionamento	M412--0305.50	Subst. UR	36B.0943	FECHE		PA	18/02/2019	766
31171759	Substituir bomba aparas	M412--0305.50	Subst. UR	36B.0924	FECHE		PP	13/01/2017	
Localização 412-306									
Ordem de execução	Descrição	Localização	Causas	Equipamento	Situação	Prioridade	Cód. Planeamento	Início Real	Duração
31314235	Substituir acoplamento e alinhamento bomba aparas	M412--0306.50	Subst. EE	36B.0943	EXEC	4		29/10/2024	36
31281605	Abiti para inspecionar bomba de aparas	M412--0306.50	Subst. EE e acoplamento	36B.0924	EXEC		PA	23/09/2024	61
31306195	Substituir acoplamento e alinhamento bomba aparas	M412--0306.50	Subst. EE	36B.0943	CUMP	2		24/07/2024	50
31301981	Substituir elemento elástico do acoplamento	M412--0306.50	Subst. EE	36B.0943	FECHE		PP	04/06/2024	54
31296808	Roda o motor não roda a bomba	M412--0306.50	Subst. EE		FECHE	4		11/04/2024	2
31297737	Fuga oleo no suporte rolamentos da bomba	M412--0306.50	Subst. UR	36B.0924	FECHE		PP	09/04/2024	70
31275711	Substituir acoplamento	M412--0306.50	Subst. EE	36B.0924	FECHE		PP	30/01/2024	511
31243532	Substituir elemento elástico (degradado), verificar alinhamento	M412--0306.50	Subst. EE	36B.0924	FECHE		PP	06/09/2022	51
31234072	Fuga pelo retentor mecânico, subst UR	M412--0306.50	Subst. UR	36B.0943	FECHE		PP	07/06/2022	232
31273984	Abiti para inspecionar bomba de aparas	M412--0306.50	Subst. UR e EE	36B.0925	FECHE		PA	18/10/2021	187
31256889	Desalinhamento do conjunto motor-bomba - alinhar	M412--0306.50	Subst. EE e alinhamento	36B.0943	FECHE		PP	14/04/2021	204
31E59390	Corrigir alinhamento/inspecionar bomba	M412--0306.50	Subst. UR, EE e alinhamento	36B.0925	FECHE		PP	22/09/2020	93
31E5444	Abiti para inspecionar bomba de aparas	M412--0306.50	Subst. UR	36B.0925	FECHE		PA	21/06/2020	341
311E5445	Inspeccionar/substituir unidade rotativa completa	M412--0306.50	Subst. UR	36B.0925	FECHE		PP	16/07/2019	41
31173965	Reparação da bomba de aparas parafuso partido	M412--0306.50	Subst. parafuso e recuperação de rotor e cone de alinhção	36B.0943	FECHE	2		05/06/2019	22
31107005	Substituir unidade rotativa completa - vibrações	M412--0306.50	Subst. UR	36B.0925	FECHE		PP	14/05/2019	84
31E62601	Inspeccionar bomba de aparas	M412--0306.50	Subst. EE	36B.0925	FECHE		PA	19/02/2019	313
31447899	Reparação da bomba de aparas saída	M412--0306.50	Subst. rotor, parafuso rotor e cone	36B.0924	FECHE	2		12/04/2018	2
31486674	Inspeccionar/substituir UR bomba, ajustar folgas, alinhar	M412--0306.50	Subst. UR	36B.0925	FECHE		PP	10/04/2018	68
31430682	Substituir cone, ajustar folgas, alinhar	M412--0306.50	Subst. cone e EE	36B.0925	FECHE		PP	01/02/2018	114
311E7695	Substituir bomba aparas	M412--0306.50	Subst. UR	36B.0925	FECHE		PA	10/10/2017	325
311E3972	Substituir elemento elástico	M412--0306.50	Subst. EE	36B.0925	FECHE	4		18/11/2016	

Anexo L – Controlo de Stock de um Empanque Mecânico

Localizar Item de Navegação

Acesso Aplicativos
 Consultas Disponíveis
 Todos os Registos
 Todos os Marcadores
 Items with Reservations
 Relativos com Diferença de Saldo
 Aplicações Comuns
 Salvo Inventário
 Limpar Alterações
 Alterar Status
 Criar o Relatório
 Mais Ações
 Visualizar Histórico de Status
 Inserir/Modificar Reservas
 Alterar Tipo de Custo
 Transferir Item Atual
 Visualizar Disponibilidade do Item
 Visualizar Análise de Fornecedor
 Visualizar Transações de Inventário
 Visualizar/Editar Detalhes da Consig...
 Algoritmo de Inventário
 Biblioteca/Planos de anacos
 Adicionar a Mercadores
 Executar Relatórios

Lista **Inventário** **Parâmetros de Gestão** **Equipamentos Relativos** **Ordem e Utilizado** **Especificações**

Algo: 1014964
 Cód.Artigo CELBI: 68011662
 Descrição CELBI:

Armazém: 1300-0001
 Tipo de Lote: LOT
 Categoria Stock: STANDARD

Sit: 1003
 Status no SAP: ACTIVO
 Local: 01-2-09-07-01
 Capitalizador:

Unidades Consumo: UN
 Está em Armazém de Proximidade?
 Conexão Activa?
 Relativ?
 Configuraçã?

Clique para ver a imagem em seu tamanho edível

Informação SAP
 Saldo Actual (rotável):
 Última actualização: 10.01.2025 9:09
 Data Remessa Pendente:
 Quantidade Reservada: 0,000
 Custo Médio SAP:
 Preço Compra:
 Quantidade a Receber: 0,000
 Actualizar do SAP

Resumo dos Saldos
 Saldo Atual: 2,00
 Quantidade Disponível: 2,00
 Quantidade Reservada (+): 0,00
 Quantidade Reservada (-): 0,00
 Momentos Pendente: 0,00

Saldos Inventário **Filtro** **1 - 1 de 1**
 Armazém: 1300-0001 Saldo: 2,00

Análise ABC
 Tipo ABC: 0
 Ciclo Contagem: 0

Histórico de Consumos
 Data Último Consumo: 06-03-2023 9:59
 Ano até a Data: 1 000
 Ano Passado: 0 000
 2 Anos Anter: 2 000
 3 Anos Anter: 0 000

Custos de Inventário **Filtro** **1 - 1 de 1**
 Código/Condição Descrição
 Taxa Condição - 100
 Ciclo Médio Último Dado

Saldos de Inventário **Filtro** **1 - 3 de 3**

Local	Saldo Actual	Saldo Disponibilizado	Data Contagem?	Contagem Física	Data da Contagem Física	Reconciliado?	Vida Útil (Dias)	Data de Validade
01-2-09-07-01	1,000	0,000		1,00	10-01-2025 9:09			
01-2-09-07-01	1,000	0,000		1,00	06-05-2025 10-02			
at_curt_mun	0,000	0,000		1,00	06-05-2025 10:12			

Anexo N – Certificado de Inspeção de uma linga de elevação de 1.25 metros

	Núcleo Empresarial de Loures / A8 Rua Francisco Canas, 23 – Fracção BC, A - das - Lebras 2660-500 Santo António do Tojal – Loures Portugal [t] + 351 218 314 144 [fax] + 351 218 314 145 pewag@pewag.pt www.pewag.pt
	Testada de acc, com: EN 818-4 Nº de identificação da Linga: 217027-EECP1465 Nº peTAG: Certificado Nº: 0219151423_25_car

Relatório de teste

Certificado de inspeção acc. EN 10204 2.2

De acordo com DL 50/2005

Ciente:	
CELBI, S.A. Lugar da Leirosa 3081-853 Figueira da Foz	Testada de acc, com: EN 818-4 Nº de identificação da Linga: 217027-EECP1465 Nº peTAG: Certificado Nº: 0219151423_25_car
Service company	
Contacto/ Departamento:	EECP1465

Valores específicos:

Descrição padrão: LINGA 1PERN CRT G80 8MM CIGANCHO AUTOBL E 1,25MTS

EN 818-4

Comentários: EECP1465

WLL [kg]	WLL [kg]	WLL [kg]
0*		
2000		

Diametro Nominal d [mm]	Classe de Qualidade	Carga de Teste [kN]	Comprimento [mt]
8	G8	29.42	1.25

Tipo de Inspeção: Teste de carga e inspeção visual

Comentários:

Peças de reposição usadas:

A Pewag Portugal, declara que o(s) produto(s) acima descritos satisfazem os requisitos técnicos aplicados nos termos da Directiva europeia nº 2006/42/CE, transposta para a legislação nacional pelo Decreto-Lei nº 103/2008 de 24 de Junho relativo à colocação no mercado e entrada em serviço das máquinas e respectivos acessórios.

Inspeção de acordo com DL50/2005

Resultado de Teste	Data do Teste:	Inspector:	
Conforme	19.02.2025	Carlos Castanha	Este certificado foi gerado por computador e é válido mesmo se nele não estiver aposta a assinatura.

Deverá ser mantido por 10 anos ou durante a vida útil do produto.



**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra