

Melhoria e otimização da gestão da manutenção preventiva numa empresa de cartão canelado

JORGE NUNO VICÊNCIA DE FARIA

Junho de 2025

**Melhoria e otimização da gestão da manutenção
preventiva numa empresa de cartão cancelado**

Jorge Nuno Vicência de Faria

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em
Gestão Industrial**

Orientador: Doutora Rafaela Carla Barros Casais

Júri:

Presidente:

Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira, Professor coordenador com agregação,
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais:

Doutora Rafaela Carla Barros Casais, Professora adjunta, Instituto Superior de Engenharia do
Porto

Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos, Professora auxiliar, Universidade de Aveiro

Porto, junho 2025

Agradecimentos

A realização deste trabalho de dissertação contou com o apoio e contributo de várias pessoas, às quais quero expressar o meu sincero agradecimento, reconhecendo a importância que cada uma teve para o sucesso deste projeto.

Em primeiro lugar, agradeço à minha família mais próxima, aos meus pais e ao meu irmão, pelo apoio incondicional, encorajamento e motivação contínua ao longo de todo o percurso académico. Agradeço também aos meus amigos mais próximos pelo companheirismo, incentivo e presença constante, e, em especial, à minha namorada, pelo carinho, atenção e disponibilidade permanente nos momentos em que mais precisei.

Aos meus colegas de curso João Barros, Miguel Novais, Bruno Vilela e Jonatas Jesus, que me acompanharam desde os primeiros dias na faculdade, deixo um agradecimento especial pela amizade, entajuda e partilha de experiências ao longo destes anos.

Em especial, agradecer à empresa *Smurfit Westrock*, pela oportunidade de realizar este projeto de dissertação na área da produção. A motivação diária e a aprendizagem contínua em contexto real de fábrica foram possíveis graças à partilha de conhecimento técnico e à disponibilidade demonstrada pelos colaboradores da empresa. Em particular, agradeço ao Eng.º Eugénio Oliveira, ao Sr. João Duarte e ao Sr. Pedro Moreira pelo acompanhamento próximo, apoio constante, paciência e boa disposição ao longo de todo o projeto.

Agradeço também à Doutora Rafaela Carla Barros Casais, pela dedicação, orientação e incentivo permanente ao longo de toda a dissertação. A sua disponibilidade e acompanhamento contínuo foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

Por fim, não posso deixar de agradecer ao Instituto Superior de Engenharia do Porto e a todos os docentes que contribuíram para o meu percurso académico, no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, com especialização em Gestão Industrial, pela formação sólida e pelas ferramentas que me permitiram enfrentar este desafio com confiança.

Um grande obrigado a todos.

Resumo

A presente dissertação insere-se no contexto da melhoria contínua dos processos industriais, com abordagem na gestão da manutenção preventiva e na fiabilidade operacional de ativos críticos. O projeto foi desenvolvido na unidade *Celpack* da empresa *Smurfit Westrock*, dedicada à produção de embalagens em cartão canelado, tendo como principal objetivo aumentar a eficiência e reduzir o número de falhas da máquina DRO 1628 NT, um dos equipamentos com maior impacto na unidade em termos de volume de produção e criticidade operacional.

Para tal, foi adotada uma abordagem de Investigação-Ação, que possibilitou a identificação de problemas no terreno e a implementação participada de soluções. O trabalho teve início com uma análise de criticidade de ativos, que fundamentou a escolha da máquina-alvo. Seguidamente, foi delineada uma estratégia de manutenção baseada no programa corporativo *Fundamentals*, incluindo a criação de manuais de manutenção autónoma, folhas de verificação padronizadas e a organização do posto de trabalho segundo a metodologia 5S. Em complemento, foi desenvolvida uma aplicação no *PowerApp* para digitalização e rastreabilidade dos pedidos de manutenção, melhorando substancialmente a comunicação entre produção e equipa técnica.

A avaliação dos resultados foi efetuada com base na comparação de indicadores operacionais entre setembro de 2024 e maio de 2025, nomeadamente produtividade, produção total, MTBF, MTTR e número de pedidos de intervenção. Os dados revelam melhorias significativas, com destaque para o aumento da produtividade, a duplicação do tempo médio entre falhas e a redução acentuada do tempo médio de reparação. Estes ganhos traduziram-se também em maior responsabilização dos operadores, melhoria do ambiente de trabalho e aumento da eficiência na gestão das atividades de manutenção.

Os resultados obtidos comprovam a eficácia das ferramentas implementadas e evidenciam o potencial de replicação desta abordagem noutras máquinas e unidades, contribuindo para a construção de um sistema de manutenção mais autónomo, visual e digitalmente integrado.

Palavras-chave: Manutenção Autónoma, *Total Productive Maintenance* (TPM), Indicadores, *Microsoft PowerApp*, 5S, DRO 1628 NT, Melhoria Contínua, Eficiência Operacional.

Abstract

This dissertation is set within the context of continuous improvement of industrial processes, with a focus on preventive maintenance management and the operational reliability of critical assets. The project was carried out at the Celpack unit of Smurfit Westrock, a company dedicated to the production of corrugated cardboard packaging, and its main objective was to increase efficiency and reduce the number of failures of the DRO 1628 NT machine—one of the most impactful assets in terms of production volume and operational relevance.

An Action Research approach was adopted, allowing for on-site problem identification and collaborative implementation of solutions. The project began with a criticality analysis of the main production assets, which supported the selection of the target equipment. A maintenance strategy was then defined and applied, based on the company's Fundamentals program, involving the creation of autonomous maintenance manuals, standardized inspection sheets, and the organization of the workstation using the 5S methodology. Additionally, a PowerApps digital application was developed to improve maintenance request traceability and streamline communication between production and the technical team.

Project outcomes were evaluated through a comparative analysis of operational indicators between September 2024 and May 2025, including productivity, total production, MTBF, MTTR, and the number of maintenance requests. The results show significant improvements, notably the increase in productivity, doubling of the mean time between failures, and a substantial reduction in meantime to repair. These improvements also contributed to enhanced operator accountability, a better work environment, and greater efficiency in maintenance task management.

The results confirm the effectiveness of the implemented tools and highlight the potential for replicating this approach to other machines and industrial units, supporting the development of a more autonomous, visual, and digitally integrated maintenance system.

KEYWORDS: Autonomous Maintenance, Total Productive Maintenance (TPM), Indicators, Microsoft PowerApp, 5S, DRO 1628 NT, Continuous Improvement, Operational Efficiency.

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice.....	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas.....	xiii
Acrónimos e Símbolos.....	xv
1. Introdução	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Metodologia.....	2
1.4. Estrutura do relatório	4
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. Conceito genérico de manutenção	5
2.1.1. Definição	5
2.1.2. Objetivos	7
2.1.3. Tipos de manutenção	8
2.2. Indicadores de desempenho.....	10
2.3. TPM – <i>Total Productive Maintenance</i>	13
2.3.1. Definições e características do TPM	14
2.3.2. Objetivos do TPM	14
2.3.3. Oito pilares do TPM	15
2.3.4. 5S como base do TPM.....	17
2.3.5. Manutenção autónoma	19
2.3.6. Manutenção <i>Lean</i>	20
2.3.7. Desperdícios da manutenção	21
3. Desenvolvimento	23
3.1. Apresentação da empresa	23
3.2. Processo produtivo.....	24
3.2.1. Processo de produção de cartão canelado	26
3.2.2. Processo de produção de caixas de cartão canelado	27
3.3. Diagnóstico da situação atual	28
3.3.1. Estado atual da manutenção preventiva	28
3.3.2. Análise SWOT	30

3.3.3. Análise dos principais problemas	31
4. Proposta de melhoria.....	33
4.1. Criticidade de ativos	33
4.1.1. Equipamento crítico.....	41
4.2. Implementação do programa <i>Fundamentals</i>	42
4.2.1. Criação dos Manuais, verificações e mala de ferramentas.....	42
4.2.2. Resultados preliminares.....	48
4.3. 5S no posto de trabalho.....	49
4.3.1. <i>Seiri</i> – Senso de utilização	51
4.3.2. <i>Seiton</i> – Senso de organização	51
4.3.3. <i>Seiso</i> – Senso de limpeza.....	53
4.3.4. <i>Seiketsu</i> – Senso de padronização	54
4.3.5. <i>Shitsuke</i> – Senso de disciplina	55
4.4. Digitalização de processos	55
4.4.1. Consulta de pedidos – Página “Os meus pedidos”	56
4.4.2. Submissão de pedidos – Página “Efetuar um pedido”	57
4.4.3. Gestão de pedidos – Página “Gestão de pedidos”	58
4.4.4. Atualização e <i>Feedback</i> – Página “Gestão de pedidos”	59
4.4.5. Impacto Global da Digitalização de Processos	60
5. Discussão e Resultados	63
5.1. Análise quantitativa dos indicadores operacionais.....	63
5.1.1. Produtividade	64
5.1.2. Produção	65
5.1.3. MTBF (<i>Mean Time Between Failures</i>).....	66
5.1.4. MTTR (<i>Mean Time To Repair</i>).....	68
5.2. Discussão de resultados.....	69
6. Conclusão	71
6.1. Conclusões finais	71
6.2. Limitações e Trabalhos Futuros.....	72
Referências.....	75
Declaração de Integridade	81
Apêndice A	83
Apêndice B.....	85
Apêndice C.....	87
Apêndice D	89
Apêndice E.....	91

Lista de Figuras

Figura 1 - Ciclos da metodologia Action-Research adaptado (Pereira & Pereira, 2020)	3
Figura 2 - Modelo tradicional TPM adaptado (Shannon et al., 2023).....	16
Figura 3 - Tipos de cartão cancelado produzidos na Celpack	25
Figura 4 - Fluxograma do processo produtivo	26
Figura 5 - Folha de observação em papel.....	29
Figura 6 - Análise SWOT do estado atual de manutenção na Celpack	30
Figura 7 - Capa do manual técnico DRO 1628 NT	43
Figura 8 - Índice do manual técnico DRO 1628 NT	44
Figura 9 - Página do manual técnico DRO 1628 NT	45
Figura 10 - Capa do bloco de verificações DRO 1628 NT	46
Figura 11 - Folha de verificações DRO 1628 NT	47
Figura 12 - Mala de ferramentas Fundamentais	48
Figura 13 - Bancada de trabalho DRO 1628 NT	51
Figura 14 - Caixa de ferramentas organizado.....	52
Figura 15 - Cortante Top-20 DRO 1628 NT.....	53
Figura 16 - Organização e limpeza do limpa clichés	54
Figura 17 - Documentação de limpeza e fiabilidade.....	55
Figura 18 - Exemplo de pedido "Por analisar"	56
Figura 19 - Exemplo de pedido "Em curso"	56
Figura 20 - Exemplo de pedido "Concluído"	57
Figura 21 - Página de consulta de pedidos	57
Figura 22 - Página de submissão de pedido	58
Figura 23 - Página de gestão de pedidos – manutenção	59
Figura 24 - Página de edição de pedidos – manutenção.....	60
Figura 25 - Análise da produtividade (m^2/h).....	65
Figura 26 - Evolução da produção (m^2)	66
Figura 27 - Evolução do MTBF (h) (Mean Time Between Failures).....	67
Figura 28 - Evolução do MTTR (min) (Mean Time To Repair).....	69

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Conceitos de manutenção.....	6
Tabela 2 - Definições de tipos de manutenção	9
Tabela 3 - Casos de estudo sobre indicadores de desempenho	13
Tabela 4 - Descrição dos pilares do TPM adaptado (Tortorella et al, 2021; Shannon et al, 2023; Musthopa et al, 2023)	16
Tabela 5 - Definição dos 5´S adaptado (Ranjith Kumar et al., 2021)	18
Tabela 6 - Casos de estudo sobre a manutenção Lean	21
Tabela 7 - Missão, Visão e Valores Smurfit Westrock.....	24
Tabela 8 - Máquinas de transformação Celpack	27
Tabela 9 - Matriz de classificação da criticidade dos equipamentos.....	34
Tabela 10 - Média mensal de 2024 do MTTF e MTBF por máquina	36
Tabela 11 - Média mensal de 2024 do número de OT e tamanho de encomenda por máquina	37
Tabela 12 - Média mensal de 2024 da produtividade e produção por máquina	39
Tabela 13 - Matriz ABC.....	40
Tabela 14 - Matriz de escolha do equipamento crítico.....	41
Tabela 15 - 5´S nos postos de trabalho	50
Tabela 16 - Indicadores operacionais por máquina.....	64
Tabela 17 - Propostas de continuidade e melhoria	73

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>

1. Introdução

O presente capítulo tem como objetivo a apresentação e enquadramento do tema da dissertação. Em primeiro lugar, realiza-se uma breve contextualização do trabalho, bem como os seus principais objetivos. De seguida, apresenta-se a metodologia de investigação e a estrutura do relatório.

1.1. Contextualização

A crescente exigência dos mercados e a competitividade industrial impõem às organizações a adoção de práticas eficientes, capazes de garantir elevados níveis de produtividade e qualidade. Neste contexto, a manutenção industrial desempenha um papel crucial, não apenas pela sua função de assegurar o correto funcionamento dos equipamentos, mas também como fator estratégico para a melhoria contínua dos processos produtivos.

As metodologias de manutenção evoluíram significativamente ao longo das últimas décadas, passando de abordagens puramente reativas para estratégias mais preventivas, preditivas e, mais recentemente, baseadas em conceitos como a *Total Productive Maintenance* (TPM) e a manutenção autónoma. Estas abordagens visam não só a redução de falhas e paragens imprevistas, mas também o envolvimento dos operadores na preservação dos equipamentos, promovendo uma cultura de responsabilidade partilhada e melhoria contínua.

A presente dissertação insere-se nesse contexto de modernização e otimização dos processos de manutenção, sendo desenvolvida na empresa *Smurfit Westrock*, unidade *Celpack*, localizada em Santa Maria da Feira. Esta unidade dedica-se à transformação de papel em cartão canelado e, posteriormente, à produção de embalagens de cartão, contando com um conjunto de equipamentos industriais de elevada complexidade e exigência operacional. Com base na realidade observada na empresa, identificou-se a necessidade de reforçar a eficácia da manutenção preventiva, através da criação de manuais, normalização de procedimentos e implementação de práticas estruturadas de manutenção autónoma.

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é contribuir para a melhoria e otimização da gestão da manutenção preventiva na unidade *Celpack* da empresa *Smurfit WestRock*, através da implementação de práticas de manutenção autónoma, suportadas por manuais operacionais e folhas de verificação padronizadas.

Pretende-se, com este trabalho, promover uma maior autonomia dos operadores na realização de tarefas básicas de manutenção, como limpeza, inspeção, aperto e lubrificação, reduzindo a dependência exclusiva das equipas técnicas e minimizando ocorrências de falhas inesperadas. Esta abordagem visa também fomentar o envolvimento dos colaboradores no cuidado com os equipamentos, aumentando a consciência coletiva sobre a importância da manutenção na fiabilidade dos processos produtivos.

De forma mais específica, este projeto tem como objetivos:

- Diagnosticar o estado atual da manutenção preventiva na unidade *Celpack*;
- Identificar oportunidades de melhoria nos procedimentos existentes;
- Desenvolver manuais de manutenção autónoma específicos para cada equipamento;
- Criar folhas de verificação padronizadas que sirvam de suporte à execução das tarefas pelos operadores;
- Implementar e testar os procedimentos desenvolvidos em ambiente real;
- Avaliar o impacto da aplicação dos novos métodos na eficiência da manutenção e na redução de paragens não planeadas.

1.3. Metodologia

Para a elaboração da dissertação, adotou-se a metodologia de Investigação-Ação (*Action Research*), uma abordagem dinâmica que relaciona, como diz o nome, a investigação científica com a resolução de problemas práticos em contextos reais. Essa metodologia tem sido utilizada em projetos de melhoria organizacional, permitindo uma colaboração ativa entre investigadores e participantes no processo de mudança (Tripp, 2005).

A Investigação-Ação caracteriza-se por um ciclo iterativo composto por quatro fases principais (Pereira & Pereira, 2020):

1. **Planeamento:** Identificação do problema ou área de melhoria, definição dos objetivos e elaboração de um plano de ação detalhado.
2. **Ação:** Implementação das intervenções planeadas no ambiente de estudo.
3. **Observação:** Monitorização e recolha de dados durante a implementação, utilizando métodos como observação direta, entrevistas e análise documental.
4. **Reflexão:** Análise dos resultados obtidos, avaliação da eficácia das ações e identificação de lições aprendidas para informar ciclos subsequentes.

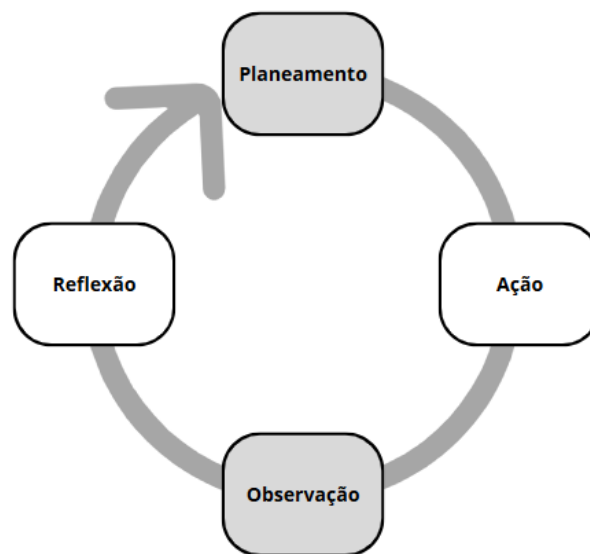


Figura 1 - Ciclos da metodologia Action-Research adaptado (Pereira & Pereira, 2020)

No contexto desta dissertação, a Investigação-Ação será aplicada para melhorar e otimizar a gestão da manutenção preventiva na empresa *Smurfit Westrock*, especificamente na unidade *Celpack*. Este processo envolverá a criação de manuais e folhas de verificação para a implementação da manutenção autónoma, promovendo a participação ativa dos colaboradores e a integração de práticas de melhoria contínua.

A escolha desta metodologia justifica-se pela sua capacidade de promover a colaboração entre os investigadores e os participantes, garantindo que as soluções desenvolvidas sejam adaptadas às necessidades e realidades específicas da organização.

1.4. Estrutura do relatório

Este relatório encontra-se estruturado em seis capítulos principais, com o objetivo de abordar de forma clara e sistemática todas as fases do projeto, desde a contextualização teórica até à análise dos resultados obtidos:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Apresenta o enquadramento do tema, os objetivos do projeto, a metodologia adotada e a estrutura do relatório, bem como uma breve descrição da empresa de acolhimento.
- **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica:** Reúne os principais conceitos teóricos relacionados com a manutenção industrial, indicadores de desempenho, a metodologia TPM, os 5S, a manutenção autónoma e os desperdícios na manutenção. Este capítulo fundamenta a base teórica do trabalho.
- **Capítulo 3 – Desenvolvimento:** Descreve a empresa *Smurfit Westrock* – unidade *Celpack*, os seus processos produtivos e o diagnóstico do estado atual da manutenção, incluindo uma análise SWOT e a identificação dos principais problemas.
- **Capítulo 4 – Proposta de Melhoria:** Apresenta as ações concretas de melhoria implementadas, nomeadamente a análise de criticidade dos ativos, a seleção do equipamento crítico, o desenvolvimento de manuais e folhas de verificação, a aplicação do programa Fundamentals, a reorganização dos postos com base nos 5S e a digitalização dos processos de manutenção.
- **Capítulo 5 – Discussão e Resultados:** Analisa os impactos das intervenções, com base em indicadores técnicos e operacionais recolhidos ao longo do tempo, comparando os resultados antes e após a implementação das ações.
- **Capítulo 6 – Conclusão:** Recolhe as principais conclusões do projeto, reflete sobre as limitações encontradas e propõe sugestões para trabalhos futuros, com vista à consolidação da manutenção autónoma e à sua expansão para outros equipamentos da unidade.

2. Revisão Bibliográfica

O presente capítulo, referente ao estado da arte, consiste na apresentação de todos os conceitos, metodologias e casos de estudo desenvolvidos até ao momento, que fundamentam o tema com base em artigos científicos, revistas e livros disponíveis.

2.1. Conceito genérico de manutenção

A manutenção industrial é uma prática essencial para garantir a eficiência dos sistemas produtivos.

Recentemente, estratégias preventivas têm sido amplamente exploradas devido ao seu impacto positivo na longevidade e no desempenho de sistemas industriais. Por exemplo, em sistemas com componentes críticos, a adoção de políticas de manutenção baseadas na assinatura de sobrevivência mostrou-se eficaz na redução de custos e aumento da disponibilidade operacional (Qi et al., 2024). Estas abordagens permitem ajustar os ciclos de manutenção com base na análise da fiabilidade dos componentes, otimizando o tempo entre intervenções e minimizando as paragens no processo.

Além disso, estudos destacam a relevância da otimização conjunta de políticas de manutenção preventiva e melhorias de qualidade do produto em sistemas de manufatura. A integração destas abordagens permite reduzir significativamente os custos de manutenção, enquanto assegura a qualidade e a fiabilidade dos equipamentos (Zhang et al., 2024). Este foco reforça o papel estratégico da manutenção nas operações industriais.

2.1.1. Definição

A manutenção industrial é uma função essencial para assegurar a fiabilidade e eficiência dos sistemas produtivos. Segundo a norma NP EN 13306:2021, manutenção é definida como a combinação de ações técnicas, administrativas e de gestão realizadas durante o ciclo de vida de um item, destinadas a mantê-lo ou recolocá-lo num estado em que possa desempenhar a

função requerida. Esta definição destaca a abrangência da manutenção, que vai além da simples reparação de falhas, incorporando práticas preventivas e preditivas para melhorar a fiabilidade dos sistemas.

De acordo com (Roda & Macchi, 2021), o conceito de manutenção evoluiu ao longo do tempo, desde abordagens corretivas até práticas mais avançadas, como a manutenção inteligente e a manutenção 4.0. Estas novas abordagens incorporam tecnologias digitais e métodos analíticos para prever falhas e otimizar a gestão dos ativos.

No contexto da Indústria 4.0, a manutenção é redefinida como um processo estratégico e integrado, utilizando tecnologias como *Internet das Coisas* (IoT) e inteligência artificial (IA) para melhorar a eficiência e reduzir custos operacionais.

A definição de manutenção, tal como qualquer conceito, não é universal, assim sendo, é necessário identificar as diversas definições e conceitos, e entender a sua evolução ao longo dos anos. Dessa forma, reuniu-se na Tabela 1 alguns conceitos de manutenção.

Tabela 1 - Conceitos de manutenção

Autor	Definição
(Simeu-Abazi et al., 2000)	A manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas associadas, incluindo ações de supervisão, destinadas a manter ou restaurar um item ou sistema a um estado em que possa desempenhar sua função requerida.
(Waeyenbergh & Pintelon, 2004)	Uma abstração de significados da realidade que é compreensível para outros e que explica, orienta e controla como o processo de manutenção ocorre ou funciona.
(Alsayouf, 2009)	A combinação de todas as ações técnicas e administrativas associadas, destinadas a manter ou restaurar um item em um estado em que ele possa desempenhar a função requerida.
(Ahmad & Kamaruddin, 2012)	Manutenção é definida como um conjunto de atividades ou tarefas utilizadas para restaurar um item a um estado em que ele possa desempenhar suas funções designadas.
(Lopes et al., 2016)	Atualmente, a manutenção é um processo de gestão complexo que associa vários processos organizacionais, como produção, qualidade, meio ambiente, análise de risco e segurança.

Tabela 1 (continuação) – conceitos de manutenção

(Lundgren et al., 2018)	Manutenção é definida como um conjunto de atividades aplicadas para assegurar que um sistema ou equipamento opere de forma confiável e eficiente, minimizando paradas inesperadas e otimizando custos.
(Saihi et al., 2022)	A manutenção é uma função de criação de valor importante, preocupada com os requisitos de integração da Indústria 4.0. Com a transformação digital, ela combina conceitos convencionais com avanços tecnológicos disruptivos para melhorar as práticas e gerar incrementos de desempenho e rentabilidade para as organizações.

Ao longo dos anos, o conceito de manutenção evoluiu de uma abordagem corretiva, centrada na resposta a falhas, para um conceito estratégico que combina práticas preditivas e preventivas. Com a introdução da Indústria 4.0 e a transição para a Indústria 5.0, a manutenção deixou de ser apenas um suporte operacional para tornar-se numa ferramenta de criação de valor, centrada em sustentabilidade, eficiência. Esta transformação reflete a crescente importância da manutenção como pilar essencial para a competitividade organizacional.

2.1.2. Objetivos

A manutenção industrial evoluiu de uma atividade corretiva para um conceito estratégico essencial ao sucesso organizacional. Estabelecer objetivos claros de manutenção é fundamental para orientar estratégias e ações que garantam a fiabilidade, disponibilidade e eficiência dos equipamentos e sistemas produtivos.

De acordo com (Van Horenbeek & Pintelon, 2014) os principais objetivos da manutenção, incluem a maximização da fiabilidade e da disponibilidade dos equipamentos. Estes objetivos asseguram que os sistemas estejam operacionais sempre que necessários, evitando paragens não planeadas e interrupções nos fluxos produtivos. Para além de garantir um bom desempenho dos equipamentos, o autor reforça que a redução de custos é outro objetivo central, alcançado por meio da otimização dos recursos utilizados nas intervenções, prolongando a vida útil dos ativos e minimizando desperdícios.

Outro aspeto destacado, é a importância de alinhar os objetivos da manutenção com as condições operacionais e as oscilações na procura de mercado. Isso implica em estratégias que

adaptem os planos de manutenção de acordo com as mudanças no ambiente produtivo, garantindo flexibilidade organizacional. É também fulcral o foco na eficiência produtiva para maximizar o rendimento dos equipamentos, otimizando não apenas os custos diretos, mas também a qualidade dos produtos entregues ao cliente (Baral et al., 2008).

2.1.3. Tipos de manutenção

A manutenção industrial desempenha um papel essencial na garantia da fiabilidade e eficiência dos sistemas produtivos. Para atender às diversas necessidades operacionais e estratégicas das organizações, a manutenção é tradicionalmente classificada em diferentes tipos, cada um com objetivos e abordagens específicas. Esses tipos incluem manutenção corretiva, preventiva, preditiva e baseada em condição.

De acordo com (de Pater & Mitici, 2021), a escolha do tipo de manutenção a ser aplicado deve considerar fatores como o custo, a criticidade do equipamento e as condições operacionais. A manutenção corretiva, frequentemente associada a custos elevados devido a paradas inesperadas, é adequada para equipamentos menos críticos. Por outro lado, estratégias como a manutenção preventiva e preditiva visam evitar falhas, otimizando os recursos e reduzindo o impacto de interrupções na produção.

No contexto da Indústria 4.0, é destacado que a manutenção baseada em condição (CBM) e a manutenção preditiva ganham destaque devido à integração de tecnologias avançadas, como sensores inteligentes e análise de dados em tempo real. Esses métodos permitem monitorar continuamente o estado dos equipamentos e prever falhas antes que elas ocorram, garantindo maior eficiência e redução de custos operacionais. (Zonta et al., 2020).

Já, os autores, (Erkoyuncu et al., 2017), apontam que a manutenção corretiva, embora tradicional, ainda é utilizada em situações onde os custos de reparo são inferiores aos de prevenção. No entanto, o equilíbrio entre custo e disponibilidade é um desafio crítico, especialmente em indústrias onde a falha de equipamentos pode ter consequências severas.

Para compreender as diferentes abordagens de manutenção, é fundamental explorar as definições de cada tipo, destacando suas características e aplicações. A Tabela 2 apresenta as principais definições de manutenção preventiva, preditiva, corretiva e baseada em condição.

Tabela 2 - Definições de tipos de manutenção

Manutenção Preventiva	A manutenção preventiva é uma estratégia baseada em intervalos regulares ou na vida útil predefinida de componentes, projetada para reduzir a probabilidade de falhas. Ela garante a confiabilidade dos equipamentos e minimiza interrupções inesperadas no sistema por meio de intervenções programadas. (Crespo del Castillo & Parlikad, 2024)
Manutenção Preditiva	A manutenção preditiva utiliza dados de monitoramento contínuo e algoritmos de prognóstico, como o cálculo da Vida Útil Remanescente (RUL), para prever falhas e realizar intervenções no momento ideal. Essa abordagem reduz custos e maximiza o tempo de uso dos componentes antes de substituições. (Dehghan Shoorkand et al., 2024).
Manutenção Corretiva	A manutenção corretiva é uma estratégia que consiste na reparação ou substituição de componentes após a ocorrência de falhas, com o objetivo de restaurar os sistemas à sua condição operacional (Levitin et al., 2024). Esta abordagem é particularmente relevante para lidar com falhas inesperadas em sistemas sujeitos a choques externos ou degradação progressiva, garantindo a continuidade operacional e minimizando os impactos de paragens não planejadas.
Manutenção Baseada na Condição	A manutenção baseada na condição (CBM) é uma estratégia que utiliza dados de análise em tempo real ou periódico para avaliar o estado atual de componentes e determinar o momento ideal para intervenções de manutenção, (Ruan et al., 2024). Essa abordagem reduz custos ao evitar manutenções desnecessárias e falhas inesperadas, utilizando modelos de degradação e informações recolhidas por sensores para ajustar decisões de inspeção e reparação.

2.2. Indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho (KPIs - *Key Performance Indicators*) são ferramentas fundamentais para avaliar e melhorar a eficácia e eficiência das operações industriais. No contexto da Indústria 4.0, os KPIs ganharam ainda mais relevância, permitindo e facilitando a análise de dados em tempo real, com o objetivo de otimizar processos e proporcionar uma visão mais precisa do desempenho organizacional. Além disso, os KPIs são essenciais para identificar problemas e propor melhorias alinhadas aos objetivos estratégicos das empresas, justificando investimentos em tecnologia e manutenção.

Segundo (Schumacher & Sihn, 2020), o conceito de KPI surgiu da necessidade de medir com objetividade o progresso em relação a metas específicas, proporcionando uma base sólida para decisões estratégicas e operacionais. Na manutenção, o uso de KPIs permite não apenas identificar falhas ou gargalos, mas também orientar ações corretivas e preventivas que aumentam a produtividade e reduzem custos a longo prazo. Com o avanço da Indústria 4.0, os KPIs tornaram-se ainda mais relevantes, pois tecnologias como a *Internet* das Coisas (IoT) e sistemas ciberfísicos (CPS) proporcionam acesso em tempo real a dados operacionais. Essa capacidade transforma os KPIs em ferramentas dinâmicas, que não apenas monitorizam a performance, mas também ajudam a prever falhas e a otimizar processos (Garcia et al., 2023).

Estudos de diversos autores discutem a importância dos indicadores de desempenho na gestão de manutenção. Por exemplo, (Garcia et al., 2023) destacam que a aplicação de KPIs no contexto da Indústria 4.0 requer uma integração sólida entre sistemas ciberfísicos e plataformas de monitorização, garantindo que os dados coletados sejam úteis para a tomada de decisões em tempo real. De forma semelhante, (Madreiter & Ansari, 2024) apontam que a transição de métricas tradicionais, como o OEE ou, em cenários mais complexos o OSEE, que inclui a sustentabilidade no cálculo, é essencial para incorporar dimensões de sustentabilidade e eficiência energética no processo. Essas abordagens reforçam a necessidade de as empresas adaptarem e compreenderem profundamente o uso estratégico das métricas de manutenção para maximizar o impacto operacional.

Segundo a norma NP EN 15341:2007, a utilização de indicadores de desempenho permite às organizações:

- Medir o estado atual das atividades de manutenção;
- Analisar os pontos fortes e fracos nos processos de manutenção;

- Planear ações de melhoria contínua;
- Apoio da tomada de decisões estratégicas e operacionais;
- Identificação de problemas e falhas de forma proativa;
- Definir metas e objetivos alinhados com a estratégia organizacional;
- Divulgar os resultados com os colaboradores para gerar motivação.

Posto isto, vamos analisar individualmente quatro indicadores de desempenho amplamente recomendados para a análise detalhada e implementação em sistemas de gestão.

- **MTBF (*Mean Time Between Failures*)**

O MTBF é um dos indicadores técnicos mais importantes na gestão de manutenção, utilizado para medir a confiabilidade de um equipamento ou sistema. Ele é definido como o tempo médio entre falhas consecutivas, ou seja, o tempo durante o qual um equipamento opera sem interrupções. É calculado fazendo a razão do intervalo de tempo que uma máquina esteve operacional, ou seja, retirar ao tempo total o tempo utilizado para reparações, sobre o total de falhas que ocorreram no período analisado, como ilustrado na Equação 1.

$$MTBF = \frac{\sum \text{Tempo de reparação}}{\text{Número de paragens}} \quad (\text{Equação 1})$$

- **MTTR (*Mean Time to Repair*)**

O MTTR é um indicador técnico usado para medir a eficiência das intervenções de manutenção, representando o tempo médio necessário para reparar um equipamento após uma falha. É uma métrica essencial para avaliar a rapidez e eficácia da equipa de manutenção. É calculado fazendo a razão entre o tempo total de reparações sobre o número de reparações realizadas, como ilustrado na Equação 2.

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tempo de reparação}}{\text{Número de reparações}} \quad (\text{Equação 2})$$

- **Disponibilidade (D)**

A Disponibilidade é um indicador técnico que mede a capacidade de um equipamento ou sistema estar operacional quando necessário. Este KPI é crucial para avaliar a eficiência das operações, considerando tanto o tempo de funcionamento quanto o impacto de falhas e reparações. É calculado através da razão entre o tempo total que o aparelho esteve operacional sobre o tempo total disponível menos as interrupções.

$$D = \frac{\Sigma \text{Tempo de atividade}}{\text{Tempo de atividade} - \text{Tempo de inatividade}} \quad (\text{Equação 3})$$

▪ **OEE (Overall Equipment Effectiveness)**

Segundo, (Madreiter & Ansari, 2024), a Eficiência Global do Equipamento (OEE) é um indicador fundamental na gestão da manutenção, utilizado para medir a eficácia global dos equipamentos de produção. Este KPI combina três componentes essenciais: disponibilidade, desempenho e qualidade, fornecendo uma visão detalhada do tempo produtivo de um equipamento em comparação com o tempo total programado para sua operação. O OEE foi introduzido no contexto da Manutenção Produtiva Total (TPM), com o objetivo de melhorar a eficiência operacional das empresas, minimizando o desperdício e maximizando a utilização dos equipamentos.

Ao longo da evolução dos processos industriais e da integração das tecnologias da Indústria 4.0, o conceito de OEE tem sido expandido para incluir novos modelos, como o OEEFlex, que incorpora a flexibilidade operacional às métricas tradicionais. Esse avanço é especialmente importante em sistemas de produção onde a personalização e a variação de lotes pequenos são características predominantes, como ocorre em ambientes de manufatura discreta. (Ginste et al., 2022)

O cálculo do OEE traduz-se da multiplicação de três fatores, como referido anteriormente, a Disponibilidade, o Desempenho e a Qualidade, como ilustra a Equação 4.

$$OEE = \text{Disponibilidade} * \text{Desempenho} * \text{Qualidade} \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo que:

Disponibilidade: Representa o tempo que o equipamento está realmente operacional, considerando as paragens programadas e não programadas.

Desempenho: Mede a eficiência operacional, considerando a velocidade real do equipamento em comparação com a velocidade ideal.

Qualidade: Avalia a proporção de produtos produzidos sem defeitos.

Para um melhor entendimento dos indicadores de desempenho em cima referidos, segue, na Tabela 3, a descrição de alguns casos de estudo, de forma a compreender a sua utilização e aplicabilidade.

Tabela 3 - Casos de estudo sobre indicadores de desempenho

Autor(es)	Descrição do caso de estudo
(Khedmati-Morasae et al., 2024)	Neste caso de estudo os autores criaram uma taxonomia de KPIs, que é uma estrutura organizada que classifica os indicadores de desempenho em diferentes categorias ou escalas. Esta escala foi criada para a economia circular, focando na eficiência operacional (OEE) e fiabilidade dos processos (MTBF). A aplicação reduziu a variabilidade em 20% e promoveu práticas sustentáveis em toda a cadeia de valor, mostrando como os KPIs podem alinhar sustentabilidade e eficiência produtiva.
(Pilar Lambán et al., 2022)	Neste caso de estudo foi desenvolvido e implementado um sistema ciberfísico (CPS) para monitorizar indicadores como OEE, MTBF e MTTR em tempo real. O sistema apresentou os KPIs através de um <i>dashboard</i> interativo, permitindo reduzir os tempos de reparação em 15% (MTTR) e aumentar a confiabilidade (MTBF) em 10%. Melhorando significativamente a eficiência operacional.
(Souifi et al., 2022)	Neste caso de estudo foi desenvolvida uma metodologia para modelar e lidar com incertezas nos KPIs industriais, como o OEE, num ambiente de Indústria 4.0 com grandes volumes de dados. A abordagem baseada na teoria de funções de crença, que é uma estrutura matemática usada para lidar com incertezas, melhorou a confiança nas decisões gerenciais em 25%, sendo aplicada em simulações de linhas de produção.

2.3. TPM – Total Productive Maintenance

Atualmente, o ambiente competitivo que envolve as organizações exige que as empresas adotem técnicas de melhoria integradas nos diversos setores industriais. Nesse contexto, a filosofia TPM tem sido cada vez mais implementada nas indústrias para aumentar a eficiência dos processos, reduzir custos, eliminar desperdícios e promover o envolvimento de todos os colaboradores.

2.3.1. Definições e características do TPM

A Manutenção Produtiva Total (TPM) é uma abordagem estratégica que visa maximizar a eficiência dos equipamentos ao longo do seu ciclo de vida, integrando práticas de manutenção preventiva, preditiva e autônoma. Este conceito, desenvolvido inicialmente no Japão, destaca-se por envolver todos os níveis organizacionais no esforço conjunto para reduzir desperdícios e melhorar continuamente os processos produtivos (Tortorella et al., 2021).

Uma das características centrais da TPM é a utilização dos seus oito pilares, entre os quais se destacam a manutenção autônoma, a melhoria contínua e a formação dos colaboradores. Estas práticas são direcionadas para aumentar a fiabilidade e a disponibilidade dos ativos, enquanto reduzem os custos operacionais. Além disso, a metodologia TPM utiliza indicadores como a Eficiência Global de Equipamento (OEE) para avaliar o impacto das estratégias de manutenção na produtividade e na qualidade dos processos (Zarreh et al., 2019).

Outro ponto de destaque é a manutenção autônoma, que capacita os operadores a realizar tarefas simples de manutenção, como inspeção e limpeza, permitindo uma identificação precoce de anomalias. Ainda segundo o estudo de (Zarreh et al., 2019), a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 no contexto da TPM, como sensores inteligentes, reforça essa abordagem ao fornecer dados em tempo real que auxiliam na tomada de decisões proativas e adequadas.

A aplicação da TPM tem demonstrado benefícios concretos, incluindo o aumento da eficiência dos equipamentos, a redução de tempos de paragem e a melhoria da segurança no ambiente de trabalho. Ao transformar a manutenção numa função estratégica, a TPM contribui significativamente para o sucesso competitivo das organizações, como destacado por estudos que exploram sua implementação em sistemas produtivos modernos (Hernandez-Vivanco & Bernardo, 2023).

2.3.2. Objetivos do TPM

Passando à implementação da TPM, é fundamental alinhar os objetivos definidos pela organização, assegurando que estejam em coerência com a visão e a estratégia estabelecidas pela empresa.

O objetivo da metodologia TPM é maximizar a eficiência dos equipamentos, reduzir custos operacionais e promover a sustentabilidade. De acordo com o estudo de (Destouet et al., 2024),

a integração de práticas de manutenção proativa com modelos de otimização permite equilibrar critérios económicos, ecológicos e sociais, evidenciando o papel da TPM na criação de sistemas de produção resilientes e eficientes. Adicionalmente, o estudo de (Özen et al., 2024) enfatiza a relevância de reduzir perdas em sistemas industriais avançados, posicionando a TPM como um recurso essencial para aumentar a fiabilidade e qualidade dos processos operacionais, com foco na melhoria contínua.

Outro objetivo central da metodologia TPM é a promoção de uma cultura de melhoria contínua que envolve todos os colaboradores na identificação e resolução de problemas, conforme descrito por (Deymi-Dashtebayaz et al., 2024). A implementação eficaz da TPM não só reduz custos associados a falhas e intervenções de manutenção não planeadas, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental, ao minimizar o consumo energético e as emissões de carbono. Assim, a metodologia TPM posiciona-se como um elemento crucial para alcançar excelência operacional em contextos industriais cada vez mais desafiadores.

Desta forma, podemos resumir por tópicos os principais objetivos da metodologia TPM.

- Melhorar a eficiência global por meio do OEE;
- Desenvolver e estruturar um sistema de manutenção preventiva eficaz;
- Identificar e eliminar perdas relacionadas a paragens, velocidade reduzida e produtos não conformes;
- Aumentar a produtividade incentivando o envolvimento e cooperação dos trabalhadores;
- Garantir a colaboração de todos os trabalhadores;
- Implementar a manutenção autónoma com a realização de tarefas básicas diárias;
- Adotar práticas 5S para criar um ambiente de trabalho mais organizado e eficiente.

2.3.3. Oito pilares do TPM

A Manutenção Produtiva Total (TPM) fundamenta-se em oito pilares principais, como ilustrado na Figura 2, que servem como base para sua aplicação nas indústrias, visando alcançar a máxima eficiência operacional. Esses pilares abrangem iniciativas como manutenção autónoma e melhoria contínua, oferecendo uma estrutura sólida para eliminar perdas, aumentar a produtividade e garantir a fiabilidade dos equipamentos. Um estudo de (Shannon et al., 2023a)

também evidenciou como esses pilares reduzem o tempo de inatividade e aumentam a disponibilidade dos sistemas produtivos, especialmente em setores altamente regulamentados, como a indústria farmacêutica.

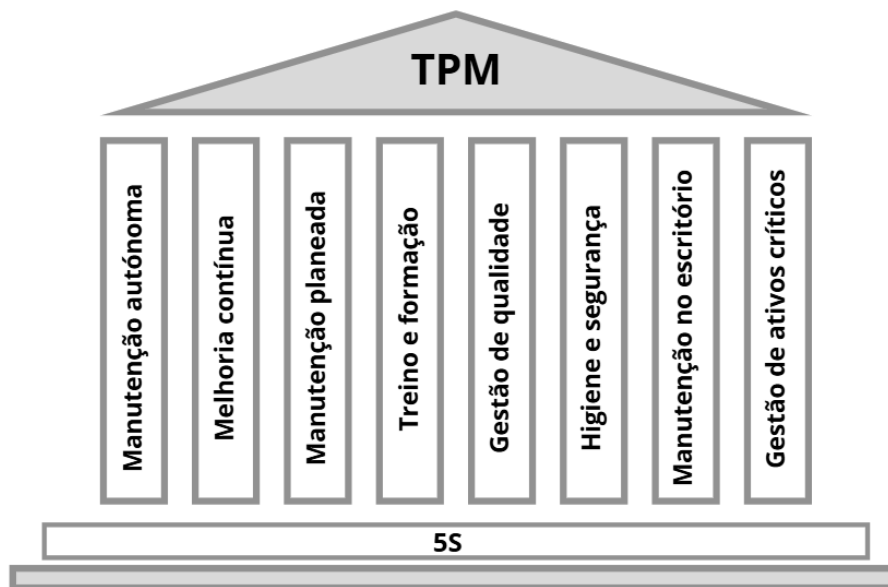


Figura 2 - Modelo tradicional TPM adaptado (Shannon et al., 2023)

Os pilares da TPM são interdependentes e visam atingir a "eficiência total" ao longo do ciclo de vida dos equipamentos. Pilares como manutenção autônoma e melhoria contínua desempenham papéis centrais na eliminação de falhas e na otimização de processos, conforme Musthopa et al. (2023).

No entanto, a sua implementação eficaz exige o envolvimento de toda a estrutura organizacional e um compromisso duradouro. Assim sendo, na Tabela 4, é apresentada uma visão detalhada sobre cada pilar.

Tabela 4 - Descrição dos pilares do TPM adaptado (Tortorella et al, 2021; Shannon et al, 2023; Musthopa et al, 2023)

Pilares	Objetivos
Manutenção autônoma	Envolve os operadores em tarefas básicas de manutenção, como limpeza, inspeção e lubrificação. Esta prática promove o envolvimento dos colaboradores, permitindo a identificação atempada de problemas, prevenindo falhas e reduzindo tempos de paragem.

Tabela 4 (continuação) - Descrição dos pilares do TPM adaptado (Tortorella et al, 2021; Shannon et al, 2023; Musthopa et al, 2023)

Melhoria contínua	Foca-se na eliminação de perdas e desperdícios de forma sistemática, através de melhorias graduais nos processos, equipamentos e fluxos de trabalho. Contribui para aumentar a produtividade e a eficiência operacional.
Manutenção planeada	Consiste no planeamento estratégico das atividades de manutenção para evitar interrupções inesperadas, garantindo maior disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos, enquanto minimiza custos e otimiza recursos.
Treino e formação	Centra-se na capacitação contínua de todos os níveis da organização, assegurando que os colaboradores tenham as competências necessárias para aplicar as práticas de manutenção e alcançar os objetivos da TPM.
Gestão da qualidade	Incorpora atividades de manutenção nas fases iniciais de <i>design</i> e desenvolvimento de equipamentos e processos, reduzindo o risco de falhas futuras e garantindo maior eficiência desde o início.
Higiene e segurança	Promove a criação de um ambiente de trabalho seguro, saudável e sustentável, prevenindo acidentes, protegendo os trabalhadores e assegurando a conformidade com as normas ambientais.
Manutenção no escritório	Aplica as práticas da TPM às áreas administrativas, otimizando processos internos, reduzindo desperdícios e melhorando a eficiência global da organização.
Gestão de ativos críticos	Centra-se na identificação e gestão dos equipamentos mais essenciais para as operações, garantindo que estejam sempre em condições ideais de funcionamento e minimizando o impacto de potenciais falhas.

2.3.4. 5S como base do TPM

O 5S é uma metodologia fundamental no contexto da Manutenção Produtiva Total (TPM), promovendo um ambiente de trabalho organizado, eficiente e seguro. Desenvolvida no Japão, esta abordagem foca-se na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua, sendo

amplamente reconhecida como a base estrutural para a implementação de práticas de manutenção produtiva total. Esta metodologia é estruturada em cinco princípios, representados na tabela, cada uma representada por uma palavra japonesa, etapas essenciais para a criação de um ambiente de trabalho organizado. Para além de aumentar a eficiência operacional, o 5S fomenta uma cultura organizacional de compromisso e disciplina, essenciais para garantir a sustentabilidade da TPM a longo prazo. (Ribeiro et al., 2019).

A integração do 5S com a TPM é frequentemente destacada como uma prática essencial para melhorar a disponibilidade e a fiabilidade dos equipamentos industriais. Por exemplo, um estudo de (Pascal et al., 2019) numa linha de produção automotiva revelou melhorias significativas, como o aumento do MTBF (Tempo Médio Entre Falhas) e a redução do MTRR (Tempo Médio para Reparação). Estes ganhos foram atribuídos à melhor organização do espaço de trabalho e à capacitação dos operadores, que passaram a ter um papel mais ativo nas atividades de manutenção.

Na Tabela 5 estão apresentadas a descrição dos cinco “S”, cada um desempenhando um papel específico na implementação do TPM.

Tabela 5 - Definição dos 5’S adaptado (Ranjith Kumar et al., 2021)

5S	Significado
<i>Seiri</i>	Organizar e separar o necessário do desnecessário no ambiente de trabalho, eliminando itens inúteis.
<i>Seiton</i>	Arranjar os itens de forma ordenada e eficiente, garantindo acesso fácil e rápido aos materiais.
<i>Seiso</i>	Limpar e manter o espaço de trabalho limpo para assegurar condições ideais e identificar falhas visíveis.
<i>Seiketsu</i>	Padronizar as práticas para criar normas claras e consistentes, promovendo um ambiente estável.
<i>Shitsuke</i>	Sustentar a disciplina e o cumprimento contínuo das práticas estabelecidas, assegurando a melhoria contínua.

Além disso, o 5S permite integrar as práticas da TPM com tecnologias emergentes, como as ferramentas da Indústria 4.0. Estudos recentes, como o de (Tortorella et al., 2021), mostram que a utilização de sensores inteligentes e sistemas de monitorização em tempo real, em

conjunto com o 5S, potencia os resultados da TPM. Esta combinação reduz os tempos de inatividade e melhora a eficiência global dos equipamentos (OEE). Assim, o 5S revela-se um pilar essencial na transformação digital da manutenção, unindo tecnologias avançadas a práticas baseadas nos princípios *Lean*.

2.3.5. Manutenção autónoma

A manutenção autónoma é um dos pilares essenciais da Manutenção Produtiva Total, incentivando o envolvimento direto dos operadores em tarefas básicas de manutenção, como limpeza, inspeção e lubrificação. Este conceito tem como objetivo capacitar os operadores a identificar e resolver problemas iniciais nos equipamentos, minimizando falhas e prevenindo paragens não planeadas. Além de melhorar a eficiência dos equipamentos, a manutenção autónoma promove um sentido de responsabilidade partilhada entre os colaboradores, alinhando-se com os objetivos globais do TPM (Au-Yong et al., 2022)

Os benefícios da manutenção autónoma estão amplamente documentados na literatura. De acordo com o estudo de (Musthopa et al., 2021), a aplicação deste pilar em sistemas de distribuição de energia levou a uma redução de 20% nas falhas e a um aumento significativo da fiabilidade geral dos sistemas. Além disso, (Shannon et al., 2023b) realçam que a manutenção autónoma contribui diretamente para a melhoria do OEE, reduzindo os tempos de paragem e maximizando a eficiência operacional. Estas melhorias sublinham a importância de capacitar os operadores e de integrar práticas de manutenção pró-ativa em todos os níveis da organização.

A integração de tecnologias da Indústria 4.0 desempenha um papel fundamental no avanço da manutenção autónoma. De acordo com (Tortorella et al., 2021), a utilização de sensores inteligentes e sistemas de monitorização em tempo real permite que os operadores acompanhem o estado dos equipamentos e tomem decisões informadas com base em dados, aumentando a eficácia das ações de manutenção. Esta abordagem colaborativa, que combina o conhecimento humano com ferramentas digitais, não só melhora a eficiência, como também reforça a resiliência organizacional perante os desafios da indústria moderna.

Para implementar com sucesso a manutenção autónoma, é necessário adotar uma abordagem estruturada que inclua a formação contínua dos operadores, o uso de ferramentas específicas e a criação de uma cultura organizacional de melhoria contínua.

2.3.6. Manutenção *Lean*

A manutenção *Lean* é uma abordagem estratégica que aplica os princípios da metodologia *Lean* aos processos de manutenção, com o objetivo de eliminar desperdícios, reduzir custos e aumentar a eficiência operacional. Baseada nos conceitos de produção, a manutenção *Lean* procura assegurar que todas as atividades realizadas no processo de manutenção adicionem valor direto ao desempenho e ao funcionamento dos equipamentos.

De acordo com (Halilintar & Singgih, 2024), a manutenção *Lean* identifica e elimina tarefas redundantes, promovendo fluxos de trabalho mais eficientes. Ferramentas como o *Value Stream Mapping* (VSM) e o 5S são fundamentais para a sua implementação. O VSM permite mapear os processos de manutenção, identificando atividades que não agregam valor, possibilitando a sua eliminação ou reestruturação, enquanto o 5S contribui para a organização e padronização do ambiente de trabalho, facilitando o acesso a ferramentas e promovendo um espaço mais eficiente e seguro. O estudo realizado no setor açucareiro demonstrou que a adoção dessas ferramentas reduziu significativamente os custos de manutenção e aumentou a produtividade das equipas.

A integração da manutenção *Lean* com as tecnologias da Indústria 4.0 amplifica significativamente os seus benefícios. De acordo com (Begum & Sumi, 2024), a utilização de sensores inteligentes, análise de *Big Data* e *IoT* permite monitorizar os equipamentos em tempo real, otimizando a alocação de recursos e reduzindo paragens não planeadas. Esta combinação fortalece a manutenção preditiva, alinhando os princípios da filosofia *Lean* com os avanços tecnológicos, maximizando assim a eficácia dos equipamentos e a eficiência operacional.

A manutenção *Lean* vai além de melhorar a eficiência dos processos; ela promove uma cultura organizacional focada na melhoria contínua e no envolvimento de todos os níveis hierárquicos. Este alinhamento estratégico contribui para operações mais resilientes e competitivas, tornando-se indispensável para empresas que procuram alcançar a excelência operacional no contexto industrial atual.

A Tabela 6 apresenta casos de estudo sobre a implementação da manutenção *Lean*, de forma a aprofundar e analisar o papel crucial nas empresas e negócios.

Tabela 6 - Casos de estudo sobre a manutenção Lean

Autor(es)	Caso de estudo
(Gomaa, 2024)	Este estudo analisou a aplicação da abordagem <i>Lean Six Sigma</i> para otimizar a gestão de manutenção de paragens numa empresa petroquímica no Egito. Utilizando a metodologia DMAIC, foi possível reduzir perdas e aumentar a eficiência, resultando em melhorias significativas na fiabilidade operacional.
(Shou et al., 2014)	Este caso explorou a integração dos conceitos BIM e <i>Lean</i> numa instalação industrial. Os resultados evidenciaram melhorias na eficiência das operações de manutenção e na otimização de recursos, ao combinar tecnologias digitais com práticas <i>Lean</i> .
(Ribeiro et al., 2020)	A aplicação do mapeamento de fluxo de valor numa empresa de termoplásticos revelou desperdícios significativos nos processos de manutenção preventiva e corretiva. Esta ferramenta proporcionou uma visão clara das áreas de melhoria, contribuindo para o aumento da eficiência geral.
(Halilintar & Singgih, 2024)	Um estudo focado na aplicação da manutenção <i>Lean</i> numa refinaria de açúcar demonstrou reduções significativas nos custos e nos tempos de manutenção. A utilização de ferramentas inteligentes permitiu reduzir os custos em 4% e acelerar os tempos de manutenção em 42%, otimizando os processos e eliminando desperdícios de forma eficiente.

2.3.7. Desperdícios da manutenção

A eliminação de desperdícios é um princípio fundamental para otimizar processos e melhorar a eficiência na gestão da manutenção. No ambiente industrial, os desperdícios em manutenção incluem atividades sem valor agregado, como tempos de espera, inspeções desnecessárias, utilização ineficiente de recursos e falhas recorrentes. De acordo com (Vijayakumar & Suresh, 2022) a adoção de práticas *Lean* na manutenção permite identificar essas atividades improdutivas e substituí-las por estratégias que maximizem o uso de recursos e equipamentos, promovendo uma gestão mais eficaz e produtiva.

Ferramentas como o *Sequential SWARA*, o *fuzzy VIKOR*, o *Value Stream Mapping (VSM)* e o 5S são amplamente reconhecidas pela sua eficácia na priorização de atividades e na identificação de áreas críticas de desperdício. Segundo (Yücenur & Şenol, 2021), a aplicação dos métodos SWARA e fuzzy VIKOR em processos de construção civil eliminou atividades desnecessárias, resultando em fluxos de trabalho mais eficientes. De forma semelhante, um estudo de *Lean Six Sigma* na indústria alimentar demonstrou que o VSM e o 5S permitem mapear processos, identificar ineficiências e eliminar até 20% das atividades redundantes, reduzindo custos e aumentando a produtividade. Além disso, estas práticas ajudam a melhorar indicadores de desempenho como o *MTBF* (Tempo Médio Entre Falhas) e o *OEE* (Eficiência Global dos Equipamentos), promovendo maior fiabilidade e eficiência nos sistemas (Widiwati et al., 2024).

Além disso, a integração dos conceitos *Lean* com a sustentabilidade enfatiza a importância de reduzir não apenas os desperdícios económicos, mas também os ambientais. A aplicação de estratégias *Lean-Green* na indústria de plásticos em Cuba demonstrou como práticas sustentáveis podem reduzir resíduos e melhorar a eficiência energética, gerando impactos positivos tanto no meio ambiente como na produtividade da organização. Este exemplo ilustra como a gestão de manutenção pode ultrapassar os objetivos puramente económicos para alinhar-se com metas de sustentabilidade corporativa, promovendo uma operação mais responsável e eficiente (Pérez Pérez et al., 2022).

Assim, a eliminação de desperdícios na manutenção não é apenas uma exigência operacional, mas também uma estratégia crucial para assegurar a competitividade e a sustentabilidade no setor industrial. Ao combinar práticas *Lean* com tecnologias avançadas, métodos de priorização e abordagens sustentáveis, as organizações conseguem não apenas reduzir custos, mas também gerar valor a longo prazo, garantindo um desempenho eficiente, consistente e alinhado com os princípios de sustentabilidade nos seus sistemas produtivos.

3. Desenvolvimento

Este capítulo, que dá início à fase de planeamento da metodologia investigação-ação, descreve o contexto real em que o projeto foi desenvolvido. Começa por apresentar a organização, a sua atividade e estrutura operacional, proporcionando uma compreensão abrangente do ambiente industrial em que a máquina selecionada opera.

Em seguida, é efetuado um diagnóstico da situação atual da manutenção, identificando os principais problemas associados à falta de padronização, às falhas de comunicação entre produção e manutenção e à inexistência de uma abordagem estruturada de manutenção autónoma. Esta análise permitiu identificar oportunidades de melhoria com impacto direto na eficiência produtiva e na fiabilidade dos equipamentos.

O capítulo inclui ainda uma análise *SWOT* que resume os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças observados no sistema de manutenção da unidade, servindo de base para as decisões estratégicas tomadas nos capítulos seguintes.

3.1. Apresentação da empresa

Este trabalho foi realizado na *Smurfit Westrock*, especificamente na unidade *Celpack*, localizada em Santa Maria da Feira, Portugal. A empresa é reconhecida como líder no setor de embalagens de papel, com foco na sustentabilidade e na inovação tecnológica.

A unidade *Celpack* é responsável pela produção de placas de cartão canelado e sua posterior transformação em embalagens de cartão. A escolha desta empresa como local de acolhimento permitiu o desenvolvimento e aplicação prática das metodologias estudadas neste trabalho.

A *Smurfit Westrock* dedica-se ao desenvolvimento de soluções eficientes e escaláveis de papel e embalagens, enfrentando desafios complexos neste setor. Comprometida em gerar valor significativo para acionistas, clientes, colaboradores e as comunidades onde opera, a empresa destaca-se pela sua ampla atuação, que abrange desde a produção de papel e embalagens

Desenvolvimento

sustentáveis até serviços de logística integrada, respondendo às exigências de mercados dinâmicos e competitivos. Com cerca de 100.000 trabalhadores, a organização é reconhecida pela sua capacidade de inovação e desempenho robusto.

Com presença consolidada em todos os continentes, a *Smurfit Westrock* é líder em inovação e sustentabilidade no setor de embalagens. O seu desempenho económico demonstra a solidez da empresa, refletida em resultados consistentes e crescimento nos últimos anos, garantindo retornos sólidos e confiáveis para os acionistas.

Tabela 7 - Missão, Visão e Valores Smurfit Westrock



Missão: A *Smurfit Westrock* dedica-se a criar soluções de papel e embalagens eficientes e escaláveis para ajudar a resolver desafios complexos em termos de embalagens. A empresa compromete-se a entregar valor significativo para acionistas, clientes, funcionários e comunidades onde opera.

Visão: A visão da *Smurfit Westrock* é ser uma empresa admirada globalmente, que oferece dinamicamente retorno seguro e superior a todos os acionistas. Para alcançar este objetivo, a empresa vai além do desempenho dinâmico dos negócios, acreditando fortemente na responsabilidade para com os colaboradores, o ambiente e as comunidades onde tem o privilégio de operar.

Valores: Inovação, Sustentabilidade, Responsabilidade Social e Compromisso com as comunidades.

3.2. Processo produtivo

A unidade *Celpack*, pertencente à *Smurfit Westrock*, atua no setor da transformação de papel, dedicando-se à produção de soluções de embalagem em cartão canelado. O processo produtivo desenvolve-se em duas fases principais: a primeira corresponde à produção das placas de cartão canelado, enquanto a segunda diz respeito à sua conversão em caixas de cartão personalizadas, prontas para expedição.

O ciclo de produção tem início com a receção das bobines de papel, de diversos tipos, a principal matéria-prima utilizada. Estas são introduzidas na máquina caneladora, onde se processa a

formação do perfil canelado e a colagem das diferentes camadas de papel. Deste processo resultam placas de cartão com estrutura simples ou dupla, Figura 3, dependendo das exigências técnicas e estruturais do produto final. Esta fase inicial têm uma elevada importância, uma vez que determina as características mecânicas e a qualidade da embalagem final.

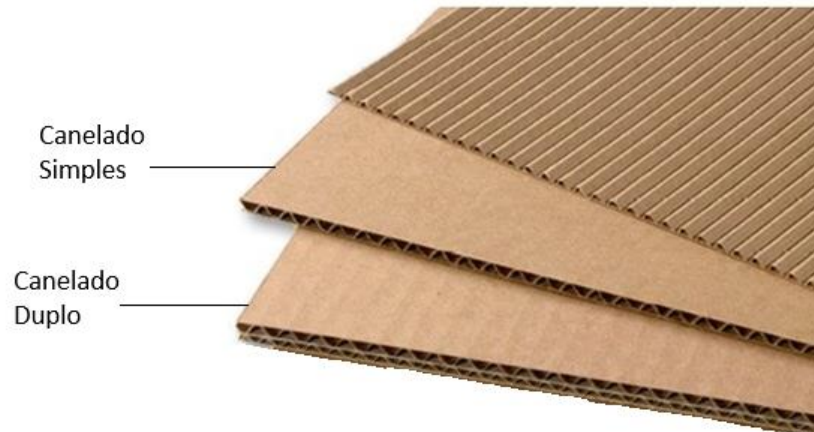


Figura 3 - Tipos de cartão canelado produzidos na Celpack

Após a sua produção, o cartão pode seguir um de dois destinos:

- Ser enviado diretamente ao cliente, quando se trata de um pedido de cartão em bruto;
- Ou encaminhado para a secção de transformação, onde será sujeito a operações de corte, vincagem, impressão e colagem, dando origem a caixas de cartão personalizadas.

Esta última fase é realizada com o apoio de um conjunto de seis máquinas industriais de elevada complexidade, cada uma responsável por uma etapa distinta do acabamento do produto. A articulação eficiente entre estas fases e o bom funcionamento dos equipamentos são aspetos determinantes para assegurar o cumprimento dos prazos e garantir os padrões de qualidade exigidos. A Figura 4 apresenta um fluxograma representativo deste processo.

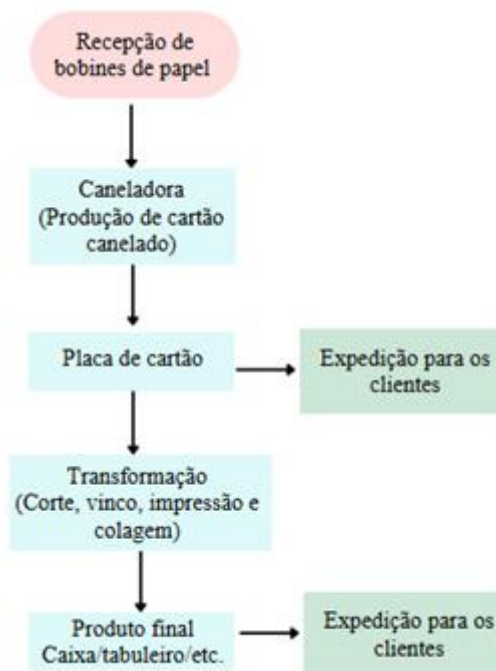


Figura 4 - Fluxograma do processo produtivo

3.2.1. Processo de produção de cartão canelado

A caneladora constitui o equipamento responsável pela fase inicial do processo produtivo. A sua principal função consiste na transformação das bobines de papel em placas de cartão canelado, através da combinação de camadas de papel liso com camadas onduladas, recorrendo a um processo de colagem térmica.

A qualidade do cartão resultante depende, em grande medida, dos parâmetros operacionais da caneladora, tais como a temperatura, a pressão, o alinhamento dos rolos e a tensão aplicada ao papel. Pequenos desvios nestes fatores podem comprometer a qualidade do produto, originar desperdícios de material ou provocar falhas nas fases seguintes da transformação.

Na *Celpack*, a caneladora permite a produção de dois tipos de estrutura: canelado simples, composto por uma única camada de miolo entre duas folhas de papel liso, e canelado duplo, constituído por duas camadas de miolo intercaladas com três folhas de papel liso. Esta capacidade de adaptação é fundamental para dar resposta à diversidade de exigências dos clientes. A fiabilidade deste equipamento assume um papel crítico, não apenas por representar o ponto de partida de toda a cadeia produtiva, mas também pelo impacto direto que eventuais falhas ou anomalias na canelagem podem ter nas etapas seguintes. Tais ocorrências influenciam

negativamente o desempenho das máquinas de transformação e comprometem a qualidade do produto final. Paralelamente, a digitalização dos processos e da comunicação interna foi um dos pilares do projeto desenvolvido. Nesse âmbito, foi criada uma plataforma em *PowerApp* com o objetivo de eliminar o uso de formulários em papel, garantir a rastreabilidade das verificações realizadas e facilitar a submissão estruturada de pedidos de intervenção à equipa de manutenção. Esta solução visa proporcionar uma resposta mais célere e informada por parte das equipas envolvidas.

3.2.2. Processo de produção de caixas de cartão canelado

Após a produção das placas de cartão na Caneladora, estas são encaminhadas para a secção de transformação, onde são processadas em máquinas industriais dedicadas a operações como corte, vinco, impressão e colagem. Esta secção inclui seis máquinas industriais divididas em 3 categorias, Tabela 8.

Tabela 8 - Máquinas de transformação Celpack

Tipo	Sigla	Definição	Máquinas
<i>Rotary Die Cutter</i>	RDC	Máquina de corte rotativo, com corpos impressores, que utiliza cilindros com troquéis/cortantes fixos para cortar, vincar e perfurar o cartão canelado de forma contínua. É muito utilizada em produções de alto volume, com formas de corte complexas e exigência de elevada cadência.	DRO 1628 NT
<i>Flexo Folder Gluer</i>	FFG	Equipamento complexo que realiza, numa só linha, a impressão flexográfica, o corte e vinco, a dobra e a colagem das caixas. É especialmente indicado para a produção em massa de caixas padrão com elevada eficiência e repetibilidade.	Martin 924 – 1 Martin 924 – 2 Bobst 618 Miniline
<i>Flat Bed Die Cutter</i>	FBC	Troqueladora de mesa plana que utiliza um sistema de prensa vertical para cortar o cartão com grande precisão. É ideal para trabalhos que exigem cortes detalhados ou complexos, embora com menor velocidade em comparação com as rotativas	Bobst 160 – S Bobst 1600

O desempenho destas máquinas tem impacto direto na eficiência da fábrica. A análise realizada revelou uma série de limitações ao nível da manutenção preventiva, falhas recorrentes, e problemas de comunicação entre os operadores e a equipa técnica. Estas constatações motivaram o desenvolvimento do presente projeto de melhoria, centrado na implementação de uma abordagem estruturada de manutenção autónoma e digitalização de processos.

Para priorizar a atuação, foram identificadas as máquinas com maior impacto na produtividade global e maior número de avarias. A seleção dos equipamentos-alvo para a fase piloto baseou-se em critérios objetivos como o volume de produção (m² produzidos), número de paragens técnicas, e disponibilidade da equipa de operadores para colaborar na implementação das novas rotinas.

3.3. Diagnóstico da situação atual

Este ponto apresenta uma análise aprofundada da situação da manutenção na unidade *Celpack* antes da implementação da intervenção proposta, permitindo identificar os principais desafios e oportunidades associados ao sistema então vigente. A caracterização foi construída com base numa combinação de observação direta em contexto produtivo, análise de dados operacionais e levantamento documental, complementados por interações informais com as equipas de produção e manutenção.


3.3.1. Estado atual da manutenção preventiva

A gestão da manutenção preventiva na unidade *Celpack*, à data do início do projeto, encontrava-se funcional, mas evidenciava limitações críticas ao nível da sistematização, padronização e eficácia operacional. Embora existissem planos de manutenção preventiva definidos no sistema, a sua execução prática era frequentemente condicionada por fatores como a elevada carga produtiva, a ausência de paragens programadas e a forte dependência da equipa técnica de manutenção.

Um dos principais problemas identificados dizia respeito ao modelo de comunicação entre os operadores e o departamento de manutenção, que assentava num processo informal e pouco fiável. A identificação de falhas ocorria, na maioria das situações, por via verbal ou através de folhas de observação em papel, Figura 5, (ver Apêndice A), preenchidas manualmente pelos operadores.

Smurfit Kappa FOLHA DE OBSERVAÇÕES *Máquina: Bobst 618*

O.T.	Observações	Data	Hora
	Alimentador - EMO: Anomalia Encoder Empilhador. Erro provoca a paragem de alimentação.		
	Necessário intervenções de manutenção. Intervenção efetuada: Desligar a máquina e voltar a ligar.		
	Verificação Visual. Erro já aconteceu 3x nas últimas 24h. Perda de produção.		

Nome do responsável: Anderson R.G. 

SP825/01

Figura 5 - Folha de observação em papel

No entanto, estas folhas apresentavam um elevado grau de inconsistência: eram muitas vezes entregues com atraso, incompletas ou simplesmente esquecidas, o que inviabilizava a criação de um registo sistemático de ocorrências.

A rastreabilidade da informação era praticamente inexistente, o que impedia a construção de um histórico fiável das falhas e intervenções realizadas. Sem este suporte informativo, o planeamento de ações corretivas ou preventivas assentava apenas na memória individual e na experiência acumulada, o que, embora útil, limitava fortemente a capacidade de decisão baseada em dados objetivos.

Do ponto de vista operacional, esta realidade refletia-se em diversos problemas recorrentes, nomeadamente:

- Aumento da frequência de falhas repetidas nos mesmos pontos das máquinas;
- Atrasos na resolução de anomalias simples;
- Ausência de indicadores fiáveis para avaliar o desempenho da manutenção.

Este diagnóstico evidenciou a necessidade urgente de modernizar os processos, tanto a nível técnico (com a digitalização e normalização das tarefas), como a nível organizacional (através

da formação e envolvimento ativo dos operadores). Tornou-se claro que a manutenção não poderia continuar a ser uma responsabilidade exclusiva das equipas técnicas, devendo evoluir para um modelo partilhado, alinhado com os princípios da manutenção autónoma.

3.3.2. Análise SWOT

Com base nas evidências recolhidas ao longo do diagnóstico, foi realizada uma análise SWOT, Figura 6, para sintetizar os principais fatores internos e externos que influenciavam o sistema de manutenção. Esta matriz ajudou a clarificar os pontos fortes que podiam ser potenciados, as fragilidades que deviam ser corrigidas, bem como as oportunidades e ameaças a considerar na proposta de melhoria.

Esta análise sustentou a definição de prioridades no planeamento da intervenção. A capacidade técnica instalada e o envolvimento das equipas revelaram-se ativos importantes a explorar. Por outro lado, a necessidade urgente de transformar processos arcaicos e a possibilidade de escalar soluções digitais foram encaradas como grandes oportunidades a não desperdiçar.



Figura 6 - Análise SWOT do estado atual de manutenção na Celpack

3.3.3. Análise dos principais problemas

A identificação dos problemas críticos resultou de uma análise integrada, combinando a observação direta no terreno, a análise de dados históricos e os testemunhos recolhidos junto de operadores e técnicos. Os problemas identificados distribuíam-se por três níveis fundamentais: operacional, comunicacional e sistemático.

Problemas operacionais:

- Ausência de rotinas formais de verificação por parte dos operadores. Tarefas básicas como limpeza, inspeção e lubrificação eram realizadas de forma aleatória, sem qualquer registo ou periodicidade definida.
- Forte dependência da manutenção corretiva, com atuação apenas após o surgimento da falha, frequentemente com impacto direto na qualidade do produto ou na produtividade.

Problemas de comunicação:

- Utilização de folhas de observação em papel, frequentemente sujeitas a erros de preenchimento, perdas ou atrasos na entrega.
- Falta de feedback ao operador após a submissão de um pedido de intervenção, o que levava à desmotivação e ao abandono gradual da prática de registo.
- Dificuldades de comunicação entre turnos, resultando na perda de informação relevante entre equipas que operavam a mesma máquina.

Problemas sistemáticos:

- Inexistência de um sistema digital de suporte à manutenção e registo de dados, dificultando a centralização e o acompanhamento das intervenções.
- Ausência de indicadores de desempenho (KPI's) que permitissem monitorizar as falhas, intervenções realizadas e o cumprimento das verificações.
- Pressão constante da produção, que conduzia ao adiamento de tarefas básicas de manutenção, como limpezas e ajustes, devido à falta de tempo disponível.

Estas fragilidades tornaram evidente que a simples intensificação das rotinas existentes não seria suficiente para garantir a fiabilidade do sistema. Era necessária uma reformulação profunda da forma como a manutenção era encarada e integrada no funcionamento diário da

Desenvolvimento

produção, assente numa cultura de responsabilização partilhada, suportada por dados fiáveis e ferramentas práticas que tornassem o processo mais eficiente, intuitivo e sustentável.

4. Proposta de melhoria

Neste capítulo inicia-se a 2ª fase, ação, da metodologia investigação-ação, com base no diagnóstico realizado e nas fragilidades identificadas na gestão da manutenção da unidade *Celpack*, foi delineada uma proposta de melhoria centrada na implementação estruturada do programa *Fundamentals*, ferramenta corporativa do grupo *Smurfit Westrock*.

Este programa tem como objetivo promover a excelência operacional através da sistematização das atividades de manutenção autónoma, da organização dos postos de trabalho e de um registo eficaz de falhas e anomalias.

A proposta assentou na adaptação da metodologia *Fundamentals* à realidade concreta da unidade, seguindo uma abordagem prática que incluiu os seguintes eixos de atuação:

- Criticidade dos ativos, para definir o equipamento piloto.
- Adaptação de manuais técnicos e folhas de verificação normalizadas, específicas por máquina e ajustadas às rotinas operacionais;
- Formação dos operadores e equipas, através de ações de treino e acompanhamento em contexto real de trabalho;
- Organização dos postos de trabalho segundo os princípios dos 5S, promovendo ambientes limpos, funcionais e seguros;
- Digitalização dos processos de verificação e registo, com o desenvolvimento de uma aplicação própria em *PowerApp*, permitindo o registo em tempo real e a rastreabilidade da informação.

4.1. Criticidade de ativos

A definição de prioridades no âmbito da manutenção autónoma requer um diagnóstico objetivo da realidade fabril, de forma a assegurar que as primeiras ações de melhoria incidem sobre os

Proposta de Melhoria

equipamentos com maior impacto na performance operacional. Com este propósito, foi realizada uma análise de criticidade aos principais ativos da área de transformação, com o objetivo de selecionar o equipamento mais adequado para dar início à implementação do projeto.

A referida análise teve por base a avaliação de seis equipamentos essenciais ao processo de transformação: DRO 1628 NT, MARTIN 924-1, MARTIN 924-2, BOBST 160-S, BOBST 1600 e BOBST 618 MINILINE. Estes ativos foram avaliados segundo um conjunto de critérios técnicos e operacionais previamente definidos, com o intuito de medir não apenas a fiabilidade dos equipamentos, mas também o impacto da sua eventual indisponibilidade no desempenho global da produção.

Foram inicialmente estabelecidos os seguintes critérios para a avaliação de criticidade:

- Número de ordens de trabalho;
- Superfície produzida (m²);
- Tamanho médio dos pedidos (m²);
- Produtividade (m²/hora);
- MTBF (*Mean Time Between Failures*);
- MTTR (*Mean Time To Repair*).

Com base nos dados operacionais extraídos do sistema interno da fábrica, OMP, foi desenvolvida uma matriz teórica de classificação de criticidade, apresentada na Tabela 9. Esta matriz permite enquadrar cada equipamento nas classes A, B ou C, consoante o grau de impacto que cada indicador representa no contexto produtivo. A definição dos critérios e respetivos intervalos de classificação baseou-se na experiência acumulada das equipas de planeamento e foi ajustada à realidade específica da unidade de transformação em estudo.

Tabela 9 - Matriz de classificação da criticidade dos equipamentos

Fator	Indicador	Classe A	Classe B	Classe C
		Alta Criticidade	Média Criticidade	Baixa Criticidade
P	Nº OT	Acima de 200 pedidos/mês.	Entre 200 e 150 pedidos/mês.	Abaixo de 150 pedidos/mês.

Tabela 9 (continuação) – Matriz de classificação da criticidade dos equipamentos

Fator	Indicador	Classe A	Classe B	Classe C
		Alta Criticidade	Média Criticidade	Baixa Criticidade
S	Produção	Acima de 2 milhões de $m^2/mês.$	Entre 2 e 1,5 milhões de $m^2/mês.$	Abaixo de 1,5 milhões de $m^2/mês.$
T	Tamanho de pedido	Abaixo de 5000 $m^2.$	Entre 10000 e 5000 $m^2.$	Acima de 10000 $m^2.$
PT	Produtividade	Acima de 3500 $m^2/h.$	Entre 3500 e 3000 $m^2/h.$	Abaixo de 3000 $m^2/h.$
R	Fiabilidade	Menor que 5 horas.	Entre 5 e 10 horas.	Acima de 10 horas.
M	Manutibilidade	Acima de 15 minutos.	Entre 15 e 10 minutos.	Abaixo de 10 minutos.

Os fatores R (Fiabilidade) e M (Manutibilidade) correspondem a variáveis quantitativas associadas ao desempenho da manutenção corretiva e foram determinados com base nos indicadores MTBF e MTTR. Estes dois indicadores possibilitam avaliar, respetivamente, a frequência média entre falhas e o tempo médio necessário para restabelecer a funcionalidade de um equipamento após a ocorrência de uma avaria. Em termos gerais, valores mais elevados de MTBF e mais reduzidos de MTTR refletem um melhor desempenho do ativo, tanto em fiabilidade como em eficiência de resposta.

O MTBF foi utilizado como métrica para aferir a fiabilidade dos ativos da área de transformação. O seu cálculo teve por base o total de horas de funcionamento durante o período de análise, dividido pelo número total de falhas registadas. O período de observação considerado corresponde à média mensal do ano de 2024, excluindo-se os dias de paragem programada e os feriados. Com base no registo de turnos da unidade, considerando ciclos de produção de 8 horas, foi possível apurar o total de horas operacionais disponíveis.

De forma complementar, o MTTR foi calculado com base nos registos das intervenções corretivas executadas pelas equipas de manutenção. Este indicador representa o tempo médio decorrido entre a deteção da falha e a reposição do normal funcionamento do equipamento. Para o seu apuramento, foi utilizada a soma total dos tempos de reparação, dividida pelo

número de avarias registadas. A principal finalidade da sua monitorização consiste na redução gradual do seu valor, promovendo uma resposta mais rápida e eficaz perante as ocorrências.

Para além dos indicadores de fiabilidade e manutibilidade, foram ainda considerados outros fatores no âmbito da análise de criticidade, nomeadamente o número de pedidos de manutenção, o volume de produção mensal, o tamanho médio das encomendas e a produtividade em metros quadrados por hora. Estes parâmetros, de natureza qualitativa e operacional, permitem aferir o grau de exigência e complexidade a que cada ativo está sujeito.

A classificação de criticidade foi efetuada com base em intervalos específicos para cada indicador, conforme apresentado na matriz teórica previamente ilustrada (Tabela 9). Os equipamentos foram classificados em níveis distintos: nível A, associado a situações de elevada exigência e impacto; nível C, correspondente a contextos de menor carga operacional ou influência sobre a produção.

A integração dos indicadores de manutenção com os dados operacionais possibilitou uma avaliação abrangente dos ativos da área de transformação, constituindo a base para a priorização das ações de melhoria e para a seleção do equipamento-piloto no contexto da implementação da manutenção autónoma.

Tabela 10 - Média mensal de 2024 do MTTF e MTBF por máquina

Máquina	MTBF [h]	MTTR [min]
MARTIN 924 – 1	8.43	24.84
MARTIN 924 – 2	7.41	25.40
BOBST 618 MINILINE	4.95	17.72
DRO 1628 NT	7.64	15.95
BOBST 160 – S	17.33	16.4
BOBST 1600	20.54	10.2

Com base nos valores dos indicadores MTBF e MTTR, apresentados na Tabela 10, é possível identificar variações significativas no desempenho dos equipamentos da área de transformação, particularmente no que se refere à frequência de falhas e ao tempo médio de reparação.

A máquina BOBST 618 MINILINE evidencia o menor valor de MTBF, com apenas 4,95 horas entre falhas, o que a posiciona como o equipamento com maior propensão a avarias no período

analisado. Em contraste, os equipamentos BOBST 160-S e BOBST 1600 demonstram níveis elevados de fiabilidade, com valores de MTBF de 17,33 horas e 20,54 horas, respetivamente, refletindo intervalos substancialmente mais longos entre falhas sucessivas.

No que diz respeito ao tempo médio de reparação, os valores de MTTR mais elevados foram registados nas MARTIN 924-1 e MARTIN 924-2, com 24,84 e 25,40 minutos por intervenção, respetivamente. Estes tempos prolongados poderão estar associados à configuração interna dos equipamentos ou à complexidade técnica de determinadas operações de manutenção. No entanto, importa salientar que estas duas máquinas apresentam valores de MTBF superiores à média da amostra, 8,43 horas para a MARTIN 924-1 e 7,41 horas para a MARTIN 924-2, o que indica uma frequência de falhas relativamente moderada.

Este comportamento pode ser parcialmente explicado pelo tipo de encomendas habitualmente processadas nas MARTIN 924, caracterizadas por grandes volumes e baixa complexidade técnica. Este perfil de produção favorece operações mais estáveis e repetitivas, o que contribui para a redução da probabilidade de falhas e se reflete positivamente nos indicadores de fiabilidade. No entanto, quando ocorrem avarias, estas tendem a requerer intervenções mais demoradas, o que justifica os valores mais elevados de MTTR.

A máquina DRO 1628 NT apresenta valores intermédios em ambos os indicadores, com um MTBF de 7,64 horas e um MTTR de 15,95 minutos, sugerindo um equilíbrio entre a frequência de falhas e o tempo necessário para reparação. Já a BOBST 1600 destaca-se por apresentar simultaneamente o maior intervalo entre falhas e o menor tempo médio de reparação (10,2 minutos), evidenciando um desempenho robusto tanto em termos de fiabilidade como de manutibilidade.

Tabela 11 - Média mensal de 2024 do número de OT e tamanho de encomenda por máquina

Máquina	Número de pedidos	Tamanho médio de encomenda [m²]
MARTIN 924 – 1	219	5667
MARTIN 924 – 2	108	12279
BOBST 618 MINILINE	197	6413
DRO 1628 NT	209	8659
BOBST 160 – S	182	2625
BOBST 1600	62	3639

Proposta de Melhoria

A Tabela 11 apresenta os valores correspondentes ao número de ordens de trabalho processadas e ao tamanho médio de encomenda para cada uma das seis máquinas analisadas na secção de transformação. Estes indicadores permitem aferir o grau de exigência e pressão operacional a que cada equipamento está sujeito, sendo considerados fatores determinantes na definição da sua criticidade.

No que respeita ao número médio de pedidos mensais, destaca-se a MARTIN 924-1, com um total de 219 pedidos, seguida da DRO 1628 NT com 209 pedidos e da BOBST 618 MINILINE com 197 pedidos. Estas três máquinas situam-se na Classe A da matriz teórica de criticidade, evidenciando um volume elevado de ordens de produção. Esta intensidade operacional traduz-se numa maior complexidade logística, aumento da frequência de *setup* e, conseqüentemente, um risco acrescido de desgaste ou falha. A BOBST 160-S regista também um valor expressivo (182 pedidos), posicionando-se no limite superior da Classe B, o que reforça a sua classificação como um equipamento altamente utilizado.

Em contrapartida, as máquinas MARTIN 924-2 e BOBST 1600 apresentam valores significativamente inferiores, com 108 e 62 pedidos, respetivamente. Estes dados sugerem uma utilização menos intensiva, correspondendo a uma menor exigência operacional, e são por isso classificadas como de baixa criticidade neste critério específico.

Quanto ao tamanho médio de encomenda, um indicador que se considera inversamente proporcional à complexidade operacional (isto é, encomendas mais pequenas implicam maior variabilidade e exigência), verifica-se que a BOBST 160-S apresenta o valor mais reduzido (2625 m²), seguida da BOBST 1600 (3639 m²) e da MARTIN 924-1 (5667 m²). Estes três equipamentos lidam, em média, com encomendas de menor dimensão, o que implica maior número de trocas de referência, maior frequência de *setup* e maior variabilidade no processo produtivo. Em particular, o valor registado pela BOBST 160-S posiciona-a claramente na Classe A da matriz de criticidade relativa a este fator.

Por outro lado, a MARTIN 924-2 apresenta o maior tamanho médio de encomenda (12.279 m²), o que, aliado ao reduzido número de pedidos, reforça o seu perfil de baixa complexidade operacional, sendo classificada na Classe C. A DRO 1628 NT e a BOBST 618 MINILINE apresentam valores intermédios, 8659 m² e 6413 m², respetivamente, posicionando-se na Classe B segundo este critério.

Tabela 12 - Média mensal de 2024 da produtividade e produção por máquina

Máquina	Produção [m^2]	Produtividade [m^2/h]
MARTIN 924 – 1	1 333 357	2897
MARTIN 924 – 2	1 390 897	4046
BOBST 618 MINILINE	1 335 186	3051
DRO 1628 NT	2 022 773	4284
BOBST 160 – S	558 562	1194
BOBST 1600	265 344	1267

A Tabela 12 apresenta os valores relativos à produção acumulada (m^2) e à produtividade média (m^2 /hora) dos principais equipamentos da secção de transformação. Estes dois indicadores permitem avaliar, simultaneamente, o grau de contributo de cada máquina para o volume global de produção da unidade e a sua eficiência operacional por unidade de tempo. Do ponto de vista da criticidade, equipamentos com elevados níveis de produção e produtividade são particularmente sensíveis a paragens inesperadas, dado que o seu tempo de inatividade representa uma perda potencial significativa para a operação.

No que respeita ao volume total de produção, a máquina DRO 1628 NT destaca-se claramente, com um total acumulado de 2.022.773 m^2 , posicionando-se como o ativo com maior peso no *output* da fábrica. Seguem-se os equipamentos MARTIN 924-2, BOBST 618 MINILINE e MARTIN 924-1, com valores semelhantes entre si (variando entre 1.333.000 m^2 e 1.391.000 m^2), o que os posiciona nas classes B ou A da matriz teórica de criticidade, conforme os limiares definidos. Estes ativos representam, assim, uma fatia significativa da produção total da unidade, o que sublinha a importância de garantir elevados níveis de fiabilidade e disponibilidade.

Em contrapartida, os equipamentos BOBST 160-S e BOBST 1600 registam volumes de produção significativamente inferiores, com 558.562 m^2 e 265.344 m^2 , respetivamente. Estes valores posicionam-nos na classe C da matriz, evidenciando uma participação mais reduzida no volume global da fábrica e, conseqüentemente, uma criticidade inferior neste parâmetro específico.

Quanto à produtividade média horária, verifica-se novamente a superioridade da DRO 1628 NT, com 4.284 m^2/h , seguida da MARTIN 924-2 (4.046 m^2/h) e da BOBST 618 MINILINE (3.051 m^2/h). Estes valores demonstram uma elevada eficiência instantânea de produção, o que implica que qualquer interrupção no seu funcionamento poderá ter um impacto considerável no output

Proposta de Melhoria

diário. Estes equipamentos devem, por isso, ser alvo de estratégias robustas de manutenção preventiva e autónoma, capazes de minimizar o risco de falhas inesperadas.

Por outro lado, as máquinas BOBST 160-S e BOBST 1600 apresentam produtividades reduzidas (1.194 m²/h e 1.267 m²/h, respetivamente), o que, aliado aos baixos volumes de produção registados, reforça a sua classificação como ativos de criticidade reduzida nos critérios de volume e desempenho.

Esta análise permite consolidar a perceção de que os equipamentos mais exigentes do ponto de vista da produção e produtividade são a DRO 1628 NT, a MARTIN 924-2 e, em menor grau, a BOBST 618 MINILINE. Estas máquinas são, por conseguinte, particularmente sensíveis a avarias e falhas operacionais, e justificam uma atenção redobrada no contexto da manutenção.

Com base na classificação individual de cada equipamento segundo os diferentes critérios considerados, nomeadamente número de pedidos, tempo de paragem, produtividade, MTBF, entre outros, procedeu-se à aplicação de uma análise da matriz ABC, Tabela 13, com o objetivo de hierarquizar os ativos de acordo com o seu nível acumulado de criticidade. Esta metodologia permite identificar os equipamentos que, em conjunto, concentram a maior parte do risco operacional da unidade de transformação, seguindo o princípio de *Pareto*, segundo o qual uma proporção reduzida dos ativos tende a representar a maioria do impacto produtivo.

Para esse fim, foi atribuída a cada equipamento uma pontuação total de criticidade, calculada com base na soma das classificações obtidas em cada um dos critérios analisados individualmente.

Tabela 13 - Matriz ABC

Equipamento	P	S	T	PT	R	M
MARTIN 924 – 1	A	C	B	C	B	A
MARTIN 924 – 2	C	C	C	A	B	A
BOBST 618 MINILINE	B	C	B	B	A	A
DRO 1628 NT	A	A	B	A	B	A
BOBST 160 – S	B	C	A	C	C	A
BOBST 1600	C	C	A	C	C	C

A aplicação da análise ABC permitiu consolidar, de forma objetiva e sistemática, a priorização dos equipamentos da secção de transformação com base no seu nível global de criticidade. Os

resultados obtidos evidenciaram a DRO 1628 NT, a BOBST 618 MINILINE e a MARTIN 924-1 como os ativos com maior criticidade operacional. Por este motivo, estas três máquinas foram selecionadas para uma análise aprofundada na secção seguinte.

Esta seleção visa identificar, com maior grau de detalhe, qual o equipamento mais adequado para dar início à implementação do plano de manutenção autónoma, assegurando que as ações desenvolvidas geram o maior retorno possível em termos de fiabilidade, desempenho e impacto na produção.

4.1.1. Equipamento crítico

Tabela 14 - Matriz de escolha do equipamento crítico

Equipamento	Criticidade	Conclusão
DRO 1628 NT	16	Mais crítica em quase todos os critérios, única capaz de realizar impressão de alta qualidade.
BOBST 618 MINILINE	13	Elevada criticidade técnica (baixa fiabilidade e elevada manutenibilidade).
MARTIN 942 – 1	12	Muito usada, mas com pedidos simples e menor impacto.
MARTIN 924 - 2	11	Muito usada, mas com pedidos simples e menor impacto.
BOBST 160 - S	11	Criticidade moderada.
BOBST 1600	9	Baixa criticidade.

A comparação da criticidade total dos equipamentos da secção de transformação, apresentada na Tabela 14, confirma de forma inequívoca a prioridade da DRO 1628 NT no âmbito da implementação da manutenção autónoma. Com um total de 16 pontos de criticidade, este equipamento apresenta o valor mais elevado da análise, destacando-se de forma consistente nos critérios mais relevantes, nomeadamente número de pedidos, volume de produção, produtividade e exigência técnica.

Embora a BOBST 618 MINILINE revele igualmente um nível elevado de criticidade, o seu impacto estratégico é limitado. Este equipamento não é responsável por produtos de elevado valor acrescentado, nem dispõe de capacidade para impressão de alta qualidade, o que reduz a sua prioridade na hierarquia de intervenção.

Por sua vez, a MARTIN 924-1, apesar de apresentar um número significativo de pedidos, encontra-se habitualmente associada ao processamento de encomendas menos complexas e tecnicamente mais simples, o que justifica a sua classificação com um nível de criticidade inferior.

Com base na soma objetiva dos fatores analisados e tendo ainda em consideração o valor estratégico da DRO 1628 NT, enquanto único equipamento com capacidade de impressão de alta qualidade e responsável pelo maior volume de produção da unidade, conclui-se que esta máquina representa a escolha mais adequada para o arranque do plano de manutenção autónoma. A sua seleção assegura o maior retorno potencial das ações a desenvolver, tanto ao nível da fiabilidade como da performance operacional.

4.2. Implementação do programa *Fundamentals*

Estando identificado o equipamento crítico para a realização do teste piloto, a DRO 1628 NT, deu-se início à primeira etapa do processo: a implementação do programa *Fundamentals*.

Este programa baseia-se numa lógica de responsabilização progressiva dos operadores, atribuindo-lhes a execução de tarefas básicas de manutenção, sem, contudo, substituir as funções atribuídas à equipa técnica especializada. O principal objetivo do *Fundamentals* consiste em promover uma cultura de prevenção, incentivando o envolvimento direto dos operadores no estado funcional dos equipamentos e contribuindo, assim, para o aumento da fiabilidade e redução de falhas evitáveis.

4.2.1. Criação dos Manuais, verificações e mala de ferramentas.

A implementação do programa *Fundamentals* na máquina DRO 1628 NT exigiu o desenvolvimento e a integração de um conjunto de suportes técnicos e operacionais que assegurassem a execução das tarefas de manutenção de forma autónoma, segura e padronizada por parte dos operadores. Este conjunto é composto por três elementos principais: o manual técnico da máquina, os blocos de verificação periódica e a mala de ferramentas.

O manual técnico constitui o documento central de apoio à manutenção autónoma. Foi elaborado com base no *template* corporativo da *Smurfit Westrock* e posteriormente adaptado à realidade operacional da unidade *Celpack*. O documento foi sujeito a um processo de validação interna e inclui a identificação da máquina, a versão de implementação, bem como os responsáveis pela sua revisão e aprovação, conferindo-lhe valor documental formal (ver Figura 7, detalhado, Apêndice B).

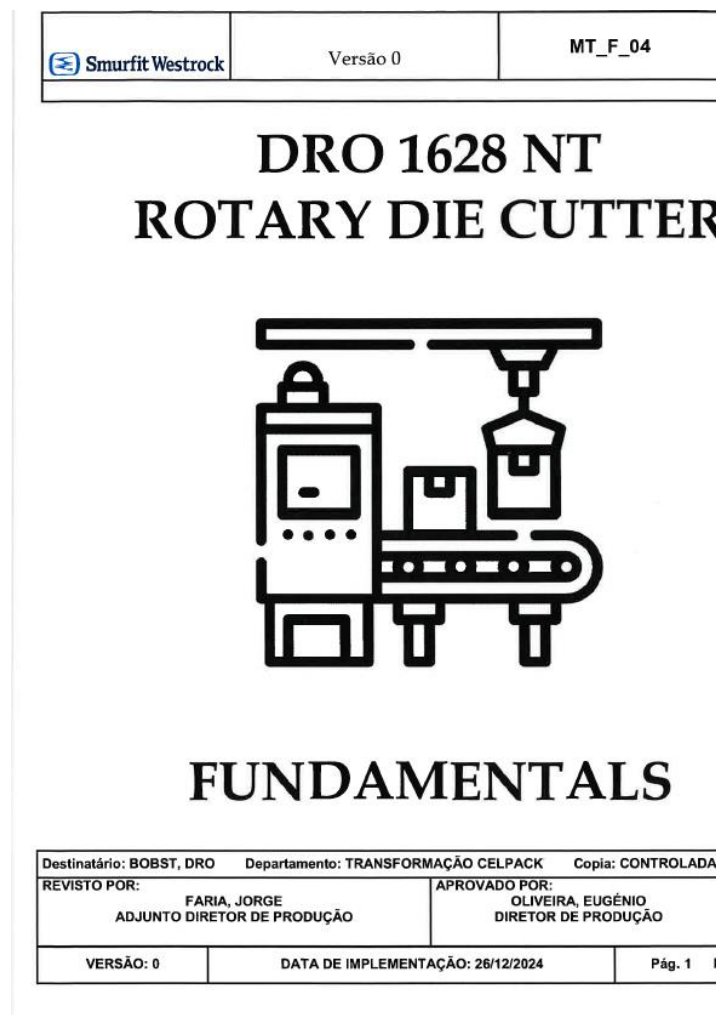


Figura 7 - Capa do manual técnico DRO 1628 NT

O manual técnico está organizado por módulos funcionais da máquina (por exemplo: introdutor, unidade de impressão, unidade de corte, entre outros), sendo dedicada uma página a cada ponto técnico a inspecionar. Para cada verificação, são apresentados os seguintes elementos:

- Imagens reais do componente a inspecionar;

Proposta de Melhoria

- Descrição detalhada da tarefa a realizar;
- Sinalização visual diferenciando a condição aceitável da condição não conforme;
- Ações corretivas recomendadas;
- Frequência com que a tarefa deve ser executada;
- E, fundamentalmente, um código de verificação único (ex.: RDC.FE.BC.01. VW).







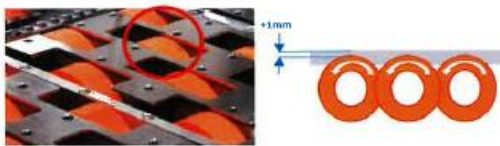

Estes códigos de verificação desempenham um papel central no sistema de manutenção autónoma, pois permitem a associação direta entre cada tarefa prática e o respetivo conteúdo técnico. O próprio índice do manual, representado na Figura 8, (Apêndice C), reflete esta lógica: cada código está vinculado a um módulo da máquina e a uma página específica, facilitando a navegação estruturada e a consulta rápida tanto por operadores como por supervisores.

Índice	
Introdutor	0
RDC.FE.BC.01.VW	1
RDC.FE.CA.01	3
RDC.FE.CA.02	4
RDC.FE.CA.03	6
RDC.FE.CA.04	8
Unidade de impressão	
PRI.AR.BC.03.CB	9
PRI.AR.BC.06.CB	11
PRI.AR.BC.07.CB	13
PRI.PU.CA.02	15
PRI.PU.CA.08	16
Unidade de corte	
RDC.DC.BC.01	17
RDC.DC.BC.02	19
RDC.DC.BC.04	22
RDC.DC.BC.06	24
RDC.DC.CA.01	25
RDC.DC.CA.02	27
Separador	
RDC.ST.BC.01.VB	29

Figura 8 - Índice do manual técnico DRO 1628 NT

As páginas do manual incluem ainda uma sinalética intuitiva, composta por imagens explicativas, critérios dimensionais, tolerâncias técnicas e exemplos fotográficos reais. Esta abordagem visual e prática facilita a compreensão e a correta execução das tarefas pelos

operadores. Um exemplo desta estrutura pode ser observado na Figura 9, (Apêndice D), que ilustra a verificação das rodas de vácuo do módulo introdutor.

Smurfit Westrock Fundamentals		Máquina	Módulo	Condição Básica
Padrão de excelência técnico e operacional		RDC	 Introdutor	
Verificação dos componentes básicos do introdutor		Frequência: Mensal	RDC.FE.BC.01.VW	
 Transporte das folhas do funil de alimentação para os rolos de alimentação de forma paralela e no momento certo.				
 Evitar o impacto entre produtos: Problemas de registo entre cores Variação de tamanho Perda de espessura Corte e vincagem imprecisos		Evitar problemas de produtividade: Falhas de alimentação Esmagamento da placa Atolamentos Desvio da folha		
 Standard:				
RODAS DE VÁCUO				
1	Rodas de entrada: Verifique se há desgaste ou danos nas rodas de alimentação.			
	As rodas devem ser trocadas anualmente como um todo para garantir aderência uniforme.			
✓	Rodas em boas condições	✗	Trocar todas as rodas	
2	Posição relativa entre as rodas de alimentação e as placas de introdução (alimentação interrompida):			
	A distância entre as placas e as rodas deve ser de pelo menos +1 mm			
✓	Distância de pelo menos 1 mm	✗	Ajuste o mecanismo	
3	Posição relativa entre as rodas de alimentação e as placas de introdução (posição de alimentação):			
	Em posição de alimentação, a placa desce para que as rodas entrem em contacto com o cartão. A distância deve ser de pelo menos -1mm.			
✓	Distância de pelo menos -1 mm	✗	Ajuste o mecanismo	

Documento: RDC.FE.BC.01.VW

Última Revisão: 18/12/2024

Pág: (1)

Figura 9 - Página do manual técnico DRO 1628 NT

Complementarmente, foram elaborados blocos físicos de folhas de verificação periódica, que servem de suporte ao registo da execução das rotinas pelos operadores. Cada folha permite documentar a assinatura do operador, a data da verificação, a condição observada e a indicação sobre a necessidade ou não de ajuste ou intervenção.

Proposta de Melhoria

Estes blocos encontram-se organizados segundo a periodicidade das tarefas (semanal, mensal, etc.) e incluem uma capa padronizada, que facilita a identificação e o controlo da frequência das verificações realizadas. Esta padronização permite uma verificação rápida e eficaz por parte das equipas de supervisão quanto ao cumprimento das rotinas estabelecidas (ver Figura 10, detalhada, Apêndice E).

Responsável	Assinatura	Data

Figura 10 - Capa do bloco de verificações DRO 1628 NT

Cada folha de verificação contém colunas dedicadas aos parâmetros a inspecionar, aos valores de referência e aos códigos de verificação, sendo estes últimos os mesmos que constam no manual técnico. Esta estrutura assegura uma ligação direta e sistemática entre o registo das verificações em campo e a base de conhecimento técnico previamente estabelecida.

A Figura 11, (Apêndice F), apresenta um exemplo deste tipo de folha, ilustrando verificações detalhadas realizadas nos módulos do introdutor e da unidade de impressão, demonstrando a aplicação prática da metodologia.

Smurfit Westrock		Excelência Técnica e Operacional								
Folha de verificação - Introdutor										
Data: __/__/__										
Unidade	Tipo	Documento	Etapas	Dimensão	Frequência	Valor Atual	Valor do Display	Valor de referência	Tolerância	Necessita Ajuste
Rodas de vácuo	Verificação dos componentes básicos do introdutor	RDC.FE.BC.01.VW (Pág 1)	1	Rodas de entrada	Semanal			Novo/Bom/Aceitável/Necessita substituição	Aceitável	
			2	Altura das rodas relativa ao prato introdutório (alimentação interrompida)	Semanal			Pelo menos 1mm	NA	
			3	Altura das rodas relativa ao prato introdutório (posição introdutória)	Semanal			Pelo menos -1mm	NA	
Prato de alimentação	Verificação dos componentes básicos do introdutor	RDC.FE.BC.01.VW (Pág 1)	1	Condição do prato de alimentação	Semanal			Novo/Bom/Aceitável/Necessita substituição	Aceitável	
Rolo Introdutor	Verificação dos componentes básicos do introdutor	RDC.FE.BC.01.VW (Pág 1)	1	Condição do rolo introdutor	Mensal			Novo/Bom/Aceitável/Necessita substituição	Bom	
Todas	Paralelismo do batente traseiro do introdutor	RDC.FE.CA.01 (Pág 3)	1	Distância	Mensal			A=B	1 mm	
Todas	Paralelismo dos rolos de alimentação no introdutor	RDC.FE.CA.02 (Pág 4)	1	Espaço entre os rolos	Mensal			Lado motor = Lado operador/Valor físico = Dial	0,20 mm	
Todas	Paralelismo dos batedores do introdutor	RDC.FE.CA.03 (Pág 6)	1	Altura dos batedores	Mensal			Lado motor = Lado operador/Valor físico = Dial	0,20 mm	
			2	Paralelismo dos batedores	Mensal			Lado motor = Lado operador	0,20 mm	
Todas	Paralelismo dos batedores laterais do introdutor	RDC.FE.CA.04 (Pág 8)	1	Distância entre os calibradores	Mensal			A s a	A s a	
Folha de verificação - Unidade de impressão										
Rolo de borracha	Sistema de doseamento, camera, rasqueta e goma	PRI.AR.BC.03.CB (Pág 9)	1	Limpeza e estado	Semanal			Novo/Bom/Aceitável/Necessita Substituição	Limpo/Bom	
Todas	Limpeza geral da unidade de impressão	PRI.PU.BC.06.CB (Pág 11)	1	Estado dos rolos impressores	Semanal			Limpo/Sujo	Limpo/Boas condições	
			2		Semanal					
			3	Estado do sistema de vácuo	Semanal					
Secadores	Limpeza dos secadores de halogénio	PRI.AR.BC.07.CB (Pág 13)	(1-5)	Limpeza e estado	Semanal			Limpo/Sujo	Limpo/Boas condições	
			6	Verificação das cassetes	Semanal			Novo/Bom/Aceitável/Necessita Substituição	Bom	
Todas	Verificação do paralelismo do anilox com o cliché	PRI.PU.CA.08 (Pág 16)	(1-2)	Paralelismo do rolo de goma / anilox	Mensal			Lado operador = motor / Valor físico = Dial	0,20 mm	
Todas	Verificação do paralelismo do rolo impressor com o rolo de introdução	PRI.PU.CA.02 (Pág 15)	(1-2)	Paralelismo do rolo impressor / contrapressão	Mensal			Lado operador = motor / Valor físico = Dial	0,20 mm	

Figura 11 - Folha de verificações DRO 1628 NT

Para assegurar que todas as tarefas possam ser executadas com total autonomia pelos operadores, foi disponibilizada uma mala de ferramentas *Fundamentals*, colocada junto à DRO 1628 NT e devidamente identificada para uso exclusivo nas atividades de verificação. Esta mala inclui um conjunto de utensílios essenciais, tais como galgas, chaves normalizadas, martelo de borracha, fita métrica e consumíveis de limpeza, todos organizados de forma acessível e segura. A presença física deste recurso reforça os princípios de apropriação do equipamento e de disciplina operacional, elementos centrais no modelo de manutenção autónoma, incentivando a responsabilização direta dos operadores pelas condições básicas da máquina (ver Figura 12).

Em conjunto, estes materiais representam a materialização prática do programa *Fundamentals*, assegurando a execução das rotinas de manutenção autónoma de forma coerente, rastreável e sustentada. A utilização sistemática dos códigos técnicos permite estabelecer uma ligação cruzada entre os registos de campo e a documentação de referência, facilitando não apenas a realização de auditorias internas, mas também a formação de novos operadores e a escalabilidade do modelo para outros equipamentos da unidade.

Esta abordagem representa uma evolução significativa face aos métodos informais anteriormente adotados, promovendo um maior rigor técnico, o reforço da cultura de

fiabilidade e o envolvimento ativo das equipas operacionais na preservação e melhoria contínua dos ativos produtivos.



Figura 12 - Mala de ferramentas Fundamentals

4.2.2. Resultados preliminares

Apesar da curta duração da fase piloto, a implementação do programa *Fundamentals* na máquina DRO 1628 NT revelou impactos imediatos e positivos na rotina de produção, tanto ao nível técnico como organizacional. Do ponto de vista técnico, observou-se um aumento significativo da frequência das verificações realizadas, bem como uma melhoria evidente na identificação atempada de anomalias e na respetiva comunicação à equipa de manutenção. Esta atuação proativa por parte dos operadores contribuiu para a redução de falhas recorrentes em pontos críticos da máquina, resultando numa maior estabilidade operacional.

Paralelamente, verificou-se um reforço do sentimento de responsabilidade dos operadores, associado à apropriação prática do processo de manutenção autónoma. A presença dos manuais técnicos junto à máquina, das folhas de verificação e da mala de ferramentas, viabilizou a execução das tarefas de forma autónoma e estruturada. Esta infraestrutura permitiu eliminar constrangimentos anteriormente identificados, como a indisponibilidade de recursos ou a ausência de documentação clara, fatores que comprometiam a eficácia das intervenções básicas.

Adicionalmente, a organização sequencial e normalizada dos materiais contribuiu para melhorar a comunicação entre turnos e reforçar a padronização das rotinas operacionais. A existência de um registo físico das ações realizadas, suportado por codificação técnica e

validação visual, favoreceu a transmissão de conhecimento entre equipas e ajudou a prevenir a repetição de erros operacionais simples, aspeto particularmente relevante num contexto de funcionamento produtivo contínuo.

Em termos globais, os resultados preliminares reforçaram a importância de consolidar a Manutenção Autónoma como uma prática sistemática e permanente na unidade. Além disso, confirmaram o valor estratégico de uma comunicação eficaz entre as áreas de produção e manutenção. Estes primeiros avanços sustentam a necessidade de expansão do programa para outros equipamentos, bem como a sua futura integração com sistemas digitais de reporte, conforme será explorado nas secções seguintes.

4.3. 5S no posto de trabalho

A implementação do programa *Fundamentals* exigiu, para além do desenvolvimento de conteúdos técnicos e materiais de apoio, uma intervenção paralela nas condições físicas e organizacionais dos postos de trabalho. Neste enquadramento, foi aplicada a metodologia 5S, reconhecida como o alicerce dos pilares fundamentais do modelo *Total Productive Maintenance* (TPM), cuja função é criar ambientes organizados, limpos e seguros, potenciando a eficiência operacional e o envolvimento das equipas.

O 5S é uma metodologia de origem japonesa composta por cinco etapas sequenciais, *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke*, que visam transformar o posto de trabalho num espaço funcional, sustentável e orientado para a eliminação de desperdícios, assegurando padrões de excelência operacional. Na unidade *Celpack*, a aplicação desta metodologia teve como foco principal a bancada de apoio à máquina DRO 1628 NT, elemento central na execução das rotinas de manutenção autónoma.

Antes da intervenção, a bancada apresentava diversos problemas de ordem operacional e organizacional: acumulação de equipamentos obsoletos, armazenamento inadequado de clichés, ausência de padronização na disposição das ferramentas, falta de identificação das zonas de trabalho e dispersão de materiais devido à inexistência de locais definidos. Estas condições dificultavam a execução eficiente das tarefas e contrariavam os princípios de disciplina e organização promovidos pela manutenção autónoma.

Proposta de Melhoria

A aplicação prática da metodologia 5S foi conduzida de forma planeada e faseada, com base num levantamento fotográfico e diagnóstico funcional prévio, que permitiram definir um plano de ação alinhado com os cinco sentidos. A Tabela 15 sintetiza as principais melhorias implementadas em cada uma das etapas da metodologia, evidenciando os ganhos obtidos na funcionalidade e organização do posto de trabalho.

Tabela 15 - 5'S nos postos de trabalho

Etapa 5S	Significado	Objetivo	Ações
Seiri	Senso de utilização	Eliminar o que é desnecessário de cada posto.	Remoção de ferramentas, papéis e materiais obsoletos ou irrelevante nas bancadas.
Seiton	Senso de organização	Organizar o necessário de forma lógica e acessível.	Definição de locais fixos e identificados para cada ferramenta, uso de etiquetas e suporte.
Seiso	Senso de limpeza	Garantir uma limpeza e inspeção regular do local de trabalho.	Estabelecimento de rotinas de limpeza simples no início e fins de turno, executadas pelos operadores.
Seiketsu	Senso de padronização	Uniformizar os métodos e condições de trabalho.	Estrutura comum para todas as bancadas de trabalho de arrumação e sinalização visual
Shitsuke	Senso de disciplina	Assegurar a continuidade e o cumprimento sistemático dos 4S anteriores	Colocação de lembretes visuais, verificação regular dos supervisores e reforço comportamental.

Como se pode observar, cada um dos cinco sentidos correspondeu a um conjunto de ações específicas, implementadas com o objetivo de transformar de forma duradoura o ambiente de trabalho. As melhorias introduzidas foram posteriormente documentadas por meio de imagens comparativas “antes e depois”, permitindo evidenciar de forma objetiva os impactos visuais e funcionais da intervenção.

Os tópicos que se seguem descrevem, de forma detalhada, cada uma das etapas do método 5S aplicadas à máquina DRO 1628 NT, destacando os resultados alcançados e a sua relevância no contexto da manutenção autónoma.

4.3.1. *Seiri* – Senso de utilização

A primeira etapa do 5S centrou-se na identificação e remoção de materiais desnecessários nas bancadas de apoio à DRO 1628 NT. Esta fase teve como principal objetivo eliminar todos os elementos que não contribuíam diretamente para a execução das rotinas de manutenção ou que interferiam negativamente na funcionalidade e segurança do posto de trabalho.

Foi realizado um levantamento completo dos materiais existentes, com o envolvimento dos operadores, tendo sido identificados diversos itens acumulados sem utilização prática. Entre os exemplos encontrados destacam-se caixas vazias, estruturas metálicas associadas a computadores obsoletos, (intervenção esta que foi adiada por falta de disponibilidade da equipa de manutenção), e componentes fora de serviço. A presença destes elementos não apenas ocupava espaço útil, como também dificultava o acesso rápido a ferramentas e contribuía para uma perceção de desorganização visual. Como se pode verificar na Figura 13, foi colocado um armário para arquivar as ordens de trabalho e documentos necessários para a preparação de trabalho, promovendo um espaço de trabalho limpo e organizado.



Figura 13 - Bancada de trabalho DRO 1628 NT

4.3.2. *Seiton* – Senso de organização

Após a eliminação dos materiais desnecessários, a etapa correspondente ao *Seiton*, segundo senso da metodologia 5S, centrou-se na definição de locais específicos para cada item

Proposta de Melhoria

necessário à atividade, com o objetivo de promover acessibilidade, rapidez e consistência entre os diferentes turnos operacionais.

A principal ação desenvolvida nesta fase foi a aquisição e instalação de um quadro de ferramentas fechado e organizado, montado junto à DRO 1628 NT e com controlo de acesso através de chave (Figura 14). Este quadro contém os principais utensílios utilizados na manutenção autónoma, como martelo, alicate, lima, retificadora, entre outros. Para garantir a rastreabilidade e a responsabilidade no uso, foram atribuídas seis chaves, uma para cada chefe de turno, assegurando assim tanto a segurança do acesso como a gestão adequada do equipamento.

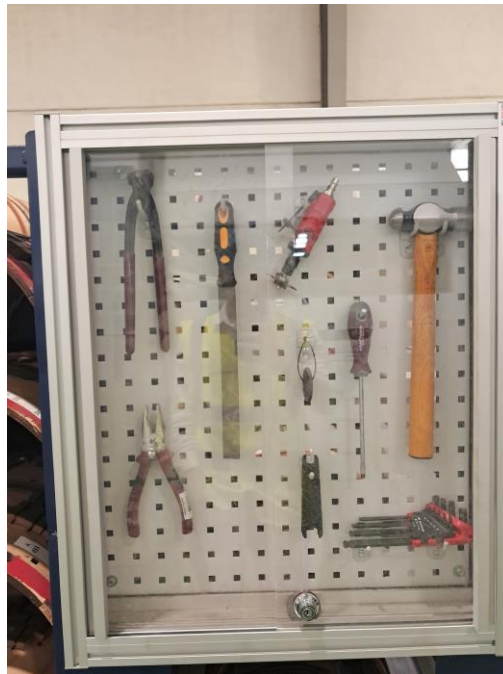


Figura 14 - Caixa de ferramentas organizado

Adicionalmente, foi realizada uma reorganização do sistema de armazenamento de cortantes, com base num estudo destinado a identificar, Figura 15, e etiquetar os 20 cortantes mais utilizados em 2025, definidos como aqueles que registaram maior volume de produção em metros quadrados. Esta ação permitiu a relocação estratégica dos cortantes mais frequentes para uma zona de armazenamento adjacente à máquina, que se encontravam divididos pelas três unidades de armazenamento da fábrica, reduzindo significativamente os tempos de *setup* e contribuindo para um ambiente de trabalho mais eficiente e organizado.



Figura 15 - Cortante Top-20 DRO 1628 NT

4.3.3. *Seiso* – Senso de limpeza

A terceira etapa do 5S, correspondente ao senso de *Seiso*, centrou-se na normalização de práticas de limpeza visual e funcional das bancadas e das zonas adjacentes à DRO 1628 NT, com o objetivo de promover o bem-estar dos operadores e facilitar a deteção precoce de anomalias operacionais.

Foram definidas rotinas de limpeza, já indexadas no programa *Fundamentals*, com envolvimento direto dos operadores. Estas práticas passaram a fazer parte da cultura diária do posto de trabalho, reforçando o sentido de cuidado e responsabilidade sobre o espaço partilhado.

Um dos focos principais desta fase foi a reorganização da área do limpa-clichés (Figura 16), equipamento essencial para a preservação do bom estado dos clichés de impressão. A zona foi alvo de limpeza profunda, isolamento físico e reordenamento funcional, promovendo condições adequadas de segurança e eficiência no seu uso.



Figura 16 - Organização e limpeza do limpa clichés

4.3.4. Seiketsu – Senso de padronização

Esta fase, correspondente ao senso de *Seiketsu*, teve como principal objetivo assegurar a consistência e a replicabilidade dos métodos implementados nas etapas anteriores, promovendo a uniformidade entre turnos e a estabilidade dos procedimentos ao longo do tempo.

Para tal, foram agendadas pequenas reuniões semanais, com os chefes de turno, para ser feito um levantamento global do processo de implementação dos 5S, com o objetivo de esclarecer possíveis dúvidas e acompanhar o processo. Estas marcações foram concebidas com o intuito de facilitar a implementação da metodologia, e para que a informação fosse passada de forma acertada a cada operador, independentemente do turno em que opera, de forma a reconhecer e respeitar o layout estabelecido, contribuindo para a padronização das práticas.

Adicionalmente, foram definidas capas e pastas identificadas para o armazenamento dos documentos de limpeza (Figura 17), as quais se encontram permanentemente acessíveis junto à bancada de trabalho. Esta medida não só facilitou o acesso à documentação, como também contribuiu para a organização, proteção e conservação dos registos, assegurando o cumprimento dos requisitos de rastreabilidade e qualidade.



Figura 17 - Documentação de limpeza e fiabilidade

4.3.5. Shitsuke – Senso de disciplina

A última etapa do 5S, correspondente ao senso de *Shitsuke*, teve como objetivo consolidar os comportamentos adquiridos, transformando-os em hábitos sustentáveis e numa parte integrante da cultura de trabalho da unidade.

As chefias de turno passaram a realizar verificações visuais informais de forma semanal, promovendo feedback imediato e a correção de desvios simples detetados no quotidiano.

Adicionalmente, os operadores foram incentivados a partilhar sugestões de melhoria, permitindo a integração de pequenas ideias no ciclo contínuo de aperfeiçoamento do posto de trabalho. Esta participação ativa reforçou o sentido de pertença e responsabilidade, contribuindo para a manutenção natural e espontânea do espaço, sem necessidade de imposições externas ou ações corretivas formais.

4.4. Digitalização de processos

No seguimento das melhorias implementadas ao nível da manutenção autónoma e organização dos postos de trabalho, identificou-se a necessidade de introduzir uma ferramenta digital que

Proposta de Melhoria

estruturasse o reporte de falhas técnicas, melhorasse a rastreabilidade das intervenções e promovesse uma comunicação mais eficaz entre os operadores e a equipa de manutenção.

Neste contexto, foi desenvolvida internamente uma aplicação personalizada em *Microsoft PowerApp*, centrada na gestão digital dos pedidos de manutenção por máquina e por turno, substituindo completamente os métodos informais anteriores baseados em papel e comunicação verbal. Esta aplicação está interligada com uma base de dados central e foi desenhada para ser intuitiva, acessível e funcional, mesmo para utilizadores com pouca familiaridade com tecnologia.

A plataforma foi estruturada em quatro interfaces principais, detalhadas nos subtópicos seguintes.

4.4.1. Consulta de pedidos – Página “Os meus pedidos”

Esta página, Figura 21, representa o painel de consulta individual do operador, onde é possível visualizar todos os pedidos de manutenção efetuados a partir da máquina à qual está associado, via utilizador. O operador tem acesso direto ao histórico e ao estado atual de cada pedido, podendo assim acompanhar a sua evolução ao longo do tempo.

Cada pedido é apresentado em linha, com campos organizados por: título do pedido, equipamento, grau de urgência, data de submissão, estado do pedido, comentários técnicos e identificação do eletromecânico atribuído. Para facilitar a consulta e o controlo visual, os pedidos são sinalizados com um código de cores, conforme o seu estado:

- Vermelho: pedido ainda não analisado pela manutenção, Figura 18;

Título	Equipamento	Urgência	Data	Estado do pedido	Comentários	Eléctromecânico
Roleta Posilock	Martin 924 - 1	Necessário	30/05/2025 16:37	Por analisar	Por comentar	N/A

Figura 18 - Exemplo de pedido "Por analisar"

- Amarelo: pedido em curso, pendente de intervenção, materiais ou disponibilidade de máquina, Figura 19;

Título	Equipamento	Urgência	Data	Estado do pedido	Comentários	Eléctromecânico
Cintadeira	Martin 924 - 1	Necessário	20/03/2025 08:57	Em curso	Correia de transmissão pedida à Signode	David Oliveira

Figura 19 - Exemplo de pedido "Em curso"

- Verde: pedido concluído, com comentário técnico registado, Figura 20.

Título	Equipamento	Urgência	Data	Estado do pedido	Comentários	Elétreomecânico
Acessorio das mangueiras	Dro 1628 NT	Necessário	20/03/2025 08:47	Concluído	Substituição dos vedantes e colocação de cavilhas.	Luis Paiva

Figura 20 - Exemplo de pedido "Concluído"

Esta funcionalidade opera como interface de comunicação entre departamentos, assegurando que os operadores têm visibilidade sobre o progresso dos pedidos e evitando duplicações ou esquecimentos.

Smurfit Westrock		Os meus pedidos			Utilizador: Jorge Faria	
Título	Equipamento	Urgência	Data	Estado do pedido	Comentários	Elétreomecânico
Mostrar filtros	<input checked="" type="checkbox"/> Ordenar por estado			Caneladora	+ Novo pedido	
Rolete Posilock	Martin 924 - 1	Necessário	30/05/2025 16:37	Por analisar	Por comentar	N/A
Impressora nº2	Martin 924 - 1	Necessário	30/05/2025 16:42	Por analisar	Por comentar	N/A
Lâmpadas azuis	Martin 924 - 1	Necessário	30/05/2025 16:43	Por analisar	Por comentar	N/A
Cintaeira	Martin 924 - 1	Necessário	30/05/2025 16:44	Por analisar	Por comentar	N/A
Rolos anilox	Dro 1628 NT	Urgente	13/03/2025 12:41	Em curso	Substituir rolo cerâmico (AB79371) 280/cm; 7cm3/m2, e borracha na	David Oliveira
Calandra porta cortantes	Dro 1628 NT	Necessário	20/03/2025 08:48	Em curso	Aguarda paragem de máquina para intervir	David Oliveira

Figura 21 - Página de consulta de pedidos

4.4.2. Submissão de pedidos – Página “Efetuar um pedido”

A submissão de pedidos é feita através de uma página, Figura 22, com formulário interativo e estruturado, criado para normalizar a forma como as anomalias são reportadas. O formulário contém campos de preenchimento obrigatório:

- Título do pedido: breve descrição do problema (campo livre);
- Equipamento: selecionado através de lista suspensa (*drop-down*), pré-carregada com os nomes das máquinas da fábrica;
- Local: selecionado através de lista suspensa (*drop-down*), pré-carregada com os compartimentos da máquina;

Proposta de Melhoria

- Urgência: classificação da gravidade do problema (ex: necessário, urgente, assim que possível);
- Descrição detalhada: campo aberto com instruções de preenchimento guiado, sugerindo exemplos de anomalias típicas;
- Anexos: opção para carregar fotos, documentos ou capturas de ecrã (opcional).

O uso de campos do tipo *drop-down* permite acelerar a submissão, evitar erros ortográficos e garantir uniformidade na base de dados, tornando a aplicação simples de usar, mesmo para operadores com baixa experiência em aplicações digitais.

A imagem mostra a interface de usuário para a submissão de um pedido no sistema Smurfit Westrock. No topo, há o logotipo da empresa e o título "Efetuar um pedido". O nome do usuário logado, "Jorge Faria", está no canto superior direito. O formulário principal contém os seguintes campos:

- * Título:** Campo de texto com o placeholder "Título do pedido".
- Utilizador:** Campo de texto com o valor "Jorge Faria".
- * Equipamento:** Menu suspenso com o valor selecionado "Máquina".
- * Urgência:** Menu suspenso com o valor selecionado "Classificar grau de urgência".
- * Descrição:** Campo de texto grande com o placeholder "Descreva com detalhe o motivo do seu pedido Ex: 'Fotócelula não funcional' / 'Avaria na impressora nº 3' / 'Correia introdutora desgastada' / 'Cilindros impressores não paralelos' / 'Folga da cola incorreta'".
- DataPedido:** Campo de texto com o valor "03/06/2025 10 :52".
- Anexos:** Campo de texto com o valor "Não há nada anexado".

No rodapé do formulário, há dois botões: "Menu inicial" e "Submeter pedido".

Figura 22 - Página de submissão de pedido

4.4.3. Gestão de pedidos – Página “Gestão de pedidos”

Esta página, Figura 23, é de acesso exclusivo à equipa técnica de manutenção. Aqui, o responsável da manutenção pode visualizar todos os pedidos ativos e concluídos, com a possibilidade de aplicar filtros personalizados, como:

- Intervalo de datas;
- Estado atual dos pedidos;
- Tipo de equipamento;
- Grau de urgência.

A interface permite ordenar e segmentar os pedidos com base nas prioridades operacionais, facilitando o planeamento de intervenções e a alocação de recursos técnicos. Esta funcionalidade tornou-se particularmente relevante na gestão de máquinas críticas, onde há necessidade de alinhar a disponibilidade da produção com o tempo necessário para manutenção.

Esta interface introduziu um nível de controlo que anteriormente não existia, permitindo à chefia ter uma visão consolidada e em tempo real do estado de todas as anomalias reportadas.



Título	Utilizador	Equipamento	Urgência	Estado do pedido	Data do pedido	Descrição
Papel solto de entrada para ondular grupo S90 2	Manuel Oliveira	Caneladora	Muito urgente	Concluído	22/01/2025 10:09	Ao fazer a redução de velocidade para fazer o empalme do papel para ondular o papel
Fuga de vapor cartucho E2	Manuel Oliveira	Caneladora	Muito urgente	Concluído	22/01/2025 10:13	Fuga de vapor cartucho E2 na cabeça inferior, necessário verificar
Fundamentals	Joao Duarte	Bobst 618	urgente	Concluído	23/01/2025 14:12	- Batedor esq. introdução desalinhado, fund. nao 10/1
Cozinha de colas	Manuel Oliveira	Caneladora	Muito urgente	Concluído	23/01/2025 14:43	Fuga de ar bomba da cola do tanque SF da cozinha de colas
Fundamentals M1 28/1	Joao Duarte	Martin 924 - 1	Pouco urgente	Concluído	27/01/2025 16:33	Mudar o Anel Fêmea (partida), do Slotter do lado da patilha.
Fuga de vapor	Manuel Oliveira	Caneladora	Muito urgente	Concluído	28/01/2025 05:58	Fuga de vapor triplex do meio na cabeça e

Figura 23 - Página de gestão de pedidos – manutenção

4.4.4. Atualização e Feedback – Página “Gestão de pedidos”

A última interface da aplicação permite à manutenção editar os pedidos recebidos, atualizando os seus campos em função da evolução da intervenção. Esta página, Figura 24, apresenta o pedido completo e permite:

- Alterar o estado (por analisar, em curso, concluído);
- Inserir comentários técnicos que explicam o que foi feito ou o motivo do atraso;
- Registrar a data da resposta;
- Atribuir o pedido a um eletromecânico específico da equipa.

Este campo de *feedback* formalizado ao utilizador substitui a comunicação verbal anterior, promovendo transparência, registo histórico e melhoria da confiança entre os departamentos.

Proposta de Melhoria

Os operadores passam a receber informação clara e acessível sobre as intervenções, reduzindo dúvidas e facilitando a responsabilização.

Smurfit Westrock **Gestão de pedidos** Utilizador: Jorge Faria

Título
Corrigir velocidades nos mostradores e sensores de temperatura

Utilizador
Manuel Oliveira

Urgência
Urgente

Equipamento
Caneladora

Local_Caneladora
Grupo ondular 1

DataPedido
14 de mai de 2025 19 : 27

Descrição
Corrigir velocidades nos empalmadores e nas S90 e consola na cabine, velocidades todas diferentes sensores de temperatura tem que funcionar corretamente, tanto na S90 1 como na S90 2, tem muitas diferenças e 1 que deixou de funcionar, assim não conseguimos saber a temperatura correta dos papéis nas S90

EstadoPedido
Em curso

Comentários/Notas
Algumas velocidades já foram corrigidas pelo Sr. Domingos, e está analisar os sensores de temperatura.

Submeter pedido
Imprimir pedido
Voltar

Figura 24 - Página de edição de pedidos – manutenção

4.4.5. Impacto Global da Digitalização de Processos

A introdução da aplicação desenvolvida em *PowerApp* marcou um ponto de viragem na transformação digital dos processos de manutenção na unidade *Celpack*, substituindo os registos em papel e os métodos informais anteriormente utilizados. Esta solução, adaptada à realidade da fábrica, permitiu eliminar falhas de rastreabilidade e reduzir atrasos na resolução de anomalias.

Um dos principais impactos foi a uniformização dos registos, através de formulários padronizados com campos obrigatórios e listas suspensas, garantindo consistência, legibilidade e menor propensão a erros ou perdas de informação. A interface simples tornou a aplicação acessível mesmo a operadores com pouca experiência digital.

A aplicação assegurou ainda rastreabilidade total, associando cada submissão a um utilizador, data e hora, e permitindo o acompanhamento em tempo real do estado dos pedidos, com sinalização visual e comentários técnicos atualizados, promovendo transparência e responsabilização.

Na vertente da gestão técnica, as funcionalidades de filtros e ordenação possibilitaram à chefia priorizar intervenções com base em critérios objetivos, otimizando o planeamento e evitando

tempos de inatividade desnecessários. Esta abordagem baseada em dados estruturados representa um avanço significativo face ao modelo anterior, mais reativo.

Adicionalmente, a página de edição de pedidos funcionou como um canal formal de comunicação entre manutenção e produção, permitindo registar comentários e o estado das intervenções, o que fortaleceu a confiança, o acompanhamento e a cooperação entre equipas, fatores fundamentais para o sucesso da manutenção autónoma no âmbito do programa *Fundamentals*.

Por fim, esta digitalização contribuiu para a criação de um ecossistema completo de manutenção preventiva e autónoma, composto por:

- Documentação técnica padronizada (manuais técnicos);
- Rotinas com registo físico estruturado (folhas e blocos de verificação);
- E um sistema digital centralizado de reporte e acompanhamento (*PowerApp*).

Proposta de Melhoria

5. Discussão e Resultados

Este capítulo, que representa a 3ª fase da metodologia adotada no projeto, a fase de observação e apresenta a análise dos resultados obtidos com a implementação das ações de melhoria propostas no âmbito do projeto, com foco na máquina DRO 1628 NT. Através da comparação de indicadores operacionais antes e após a aplicação do programa *Fundamentals*, da metodologia 5S e da digitalização dos processos, procura-se avaliar o impacto das intervenções realizadas na fiabilidade, produtividade e eficiência global da máquina.

Os resultados quantitativos foram analisados com base em dados recolhidos da plataforma OMP entre setembro de 2024 e maio de 2025, enquanto a discussão qualitativa procura refletir criticamente sobre os efeitos técnicos, organizacionais e comportamentais observados ao longo do processo.

5.1. Análise quantitativa dos indicadores operacionais

A avaliação da eficácia das ações implementadas no âmbito da presente dissertação exigiu uma análise comparativa dos principais indicadores operacionais da máquina DRO 1628 NT, medidos antes e após a implementação do programa *Fundamentals*, da metodologia 5S e da digitalização dos processos via *PowerApp*.

Para esta análise foram considerados os dados mensais recolhidos entre setembro de 2024 e maio de 2025, extraídos diretamente da plataforma OMP e validados pela equipa técnica da unidade *Celpack*. Os indicadores selecionados incluem métricas de produtividade, fiabilidade e desempenho técnico, fundamentais para avaliar o impacto das ações sobre o funcionamento global da máquina.

Os dados estão organizados na Tabela 16, e a sua evolução será analisada em detalhe nos parágrafos seguintes.

Tabela 16 - Indicadores operacionais por máquina

Indicadores	09/24	10/24	11/24	12/24	01/25	02/25	03/25	04/25	05/25
[S] - Produção [m ²]	2 003 149,00	2 066 130,00	1 868 537,00	1 654 111,00	2 018 037,00	2 150 263,00	2 201 456,00	2 314 831,00	2 340 321,00
[PT] - Produtividade [m ² /h]	3 974	4 386	4 077	4 435	4 596	4 279	4 369	4 386	4 529
[R] - MTBF [horas]	8,69	7,85	5,62	7,25	8,2	8,1	9,4	9,56	10,25
[M] - MTTR [min.]	20,0	22,0	25,0	26,0	30,0	19,58	12,54	14,33	11,35
[P] - nº pedidos	198	208	182	155	180	193	167	177	219
[T] - Tamanho pedido [m ²]	8998	9115	9391	9560	10025	8684	10001	8972	9872

5.1.1. Produtividade

A Figura 25, apresenta a evolução da produtividade mensal da máquina DRO 1628 NT, medida em metros quadrados por hora (m²/h), ao longo de nove meses consecutivos. Verifica-se que, após uma fase inicial marcada por alguma instabilidade, os valores de produtividade evidenciam uma tendência de crescimento sustentada, claramente visível na linha de tendência do gráfico.

Em setembro de 2024, a produtividade era de 3 974 m²/h. Este valor apresentou oscilações nos meses seguintes, atingindo um mínimo em novembro (4 077 m²/h). A partir de dezembro, altura em que se deu início à fase de implementação formal das melhorias, nomeadamente a introdução do programa *Fundamentals* e a reorganização das bancadas segundo a metodologia 5S, os valores tornaram-se mais consistentes.

Nos meses de 2025, observa-se um reforço da estabilidade e um aumento gradual da eficiência, com destaque para os meses de abril (4 489 m²/h) e maio (4 529 m²/h), este último a registar o pico máximo de produtividade do período analisado.

Este crescimento é explicado pela eliminação progressiva de interrupções não planeadas, pela execução sistemática de tarefas básicas de verificação e pela maior fluidez na operação, resultado da melhor organização física dos postos de trabalho e da redução do tempo improdutivo na preparação e nos pequenos ajustes.

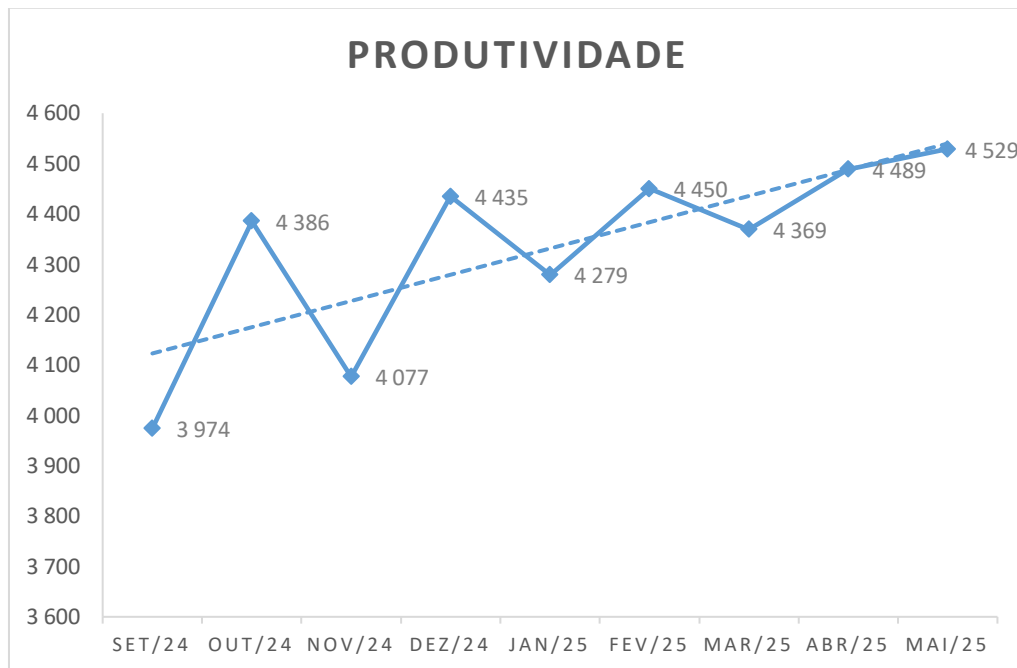


Figura 25 - Análise da produtividade (m²/h)

A implementação da aplicação *PowerApp*, por sua vez, contribuiu para uma resposta mais célere da manutenção e maior previsibilidade na execução de intervenções corretivas, minimizando o impacto das falhas pontuais na cadência da produção.

Assim, a análise deste indicador confirma que as medidas aplicadas produziram resultados consistentes e mensuráveis ao nível da produtividade, constituindo uma base sólida para a consolidação futura da metodologia de manutenção autónoma na organização.

5.1.2. Produção

A Figura 26 apresenta a evolução da produção mensal total da máquina DRO 1628 NT, expressa em metros quadrados (m²), entre setembro de 2024 e maio de 2025. Tal como observado na produtividade, este indicador revela uma tendência global de crescimento, especialmente evidente após a implementação formal das ações de melhoria.

Nos últimos meses de 2024, registaram-se flutuações acentuadas, com destaque para o mínimo de 1 654.111 m² em dezembro, imediatamente antes da aplicação plena do programa *Fundamentals* e da metodologia 5S. Este período foi caracterizado por paragens recorrentes, ausência de rotinas sistematizadas de verificação e desorganização operacional.

A partir de janeiro de 2025, verifica-se um percurso de recuperação e crescimento contínuo, culminando em maio de 2025 com um total de 2 340.321 m² produzidos — o valor mais elevado

do período analisado. Este aumento representa um acréscimo superior a 40% face ao ponto mais crítico (dezembro), refletindo melhorias significativas na fiabilidade do equipamento e na gestão do tempo produtivo.

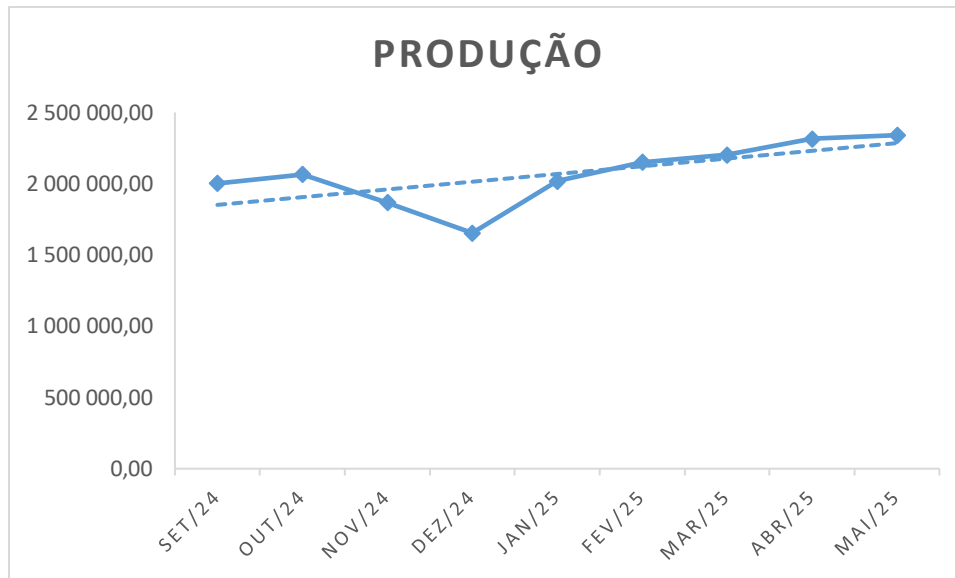


Figura 26 - Evolução da produção (m²)

Este desempenho é interpretado como resultado da conjugação de três fatores principais:

- Redução das paragens não planeadas, graças à identificação precoce de falhas por via da manutenção autónoma;
- Melhoria da organização física do posto de trabalho, com acesso facilitado a ferramentas e um ambiente funcional e limpo;
- Planeamento mais eficiente das intervenções, assegurado pela introdução da aplicação *PowerApp* e pela sistematização dos pedidos de manutenção.

Para além do aumento do volume produzido, é relevante notar a estabilização do processo, com valores mensais mais consistentes e próximos da linha de tendência crescente, reforçando a sustentabilidade das melhorias implementadas.

5.1.3. MTBF (*Mean Time Between Failures*)

A Figura 27 ilustra a evolução do indicador MTBF, expresso em horas, que representa o tempo médio de funcionamento da máquina entre duas falhas consecutivas. Este indicador é fundamental para a análise da fiabilidade operacional da máquina DRO 1628 NT, sendo

diretamente influenciado pelas práticas de manutenção preventiva e pelas rotinas de verificação autónoma.

Entre setembro e dezembro de 2024, o MTBF apresentou um comportamento instável e descendente, atingindo o ponto mais crítico em novembro com 5,62 horas. Este período corresponde à fase anterior à implementação das ações estruturadas de melhoria, em que os procedimentos de inspeção eram informais e as falhas surgiam de forma reativa, sem deteção precoce.

A partir de janeiro de 2025, verifica-se uma inversão da tendência, com um crescimento consistente do MTBF até atingir 10,25 horas em maio, representando uma melhoria de cerca de 82%. Este aumento evidencia a maior estabilidade do processo e a redução da frequência de falhas.

A melhoria é atribuída à adoção do programa *Fundamentals*, que estabeleceu rotinas diárias de verificação básica pelos operadores, permitindo a deteção e correção precoce de pequenos desvios. Paralelamente, a organização das bancadas segundo a metodologia 5S facilitou o acesso a ferramentas e eliminou fontes de desordem que poderiam originar falhas mecânicas.

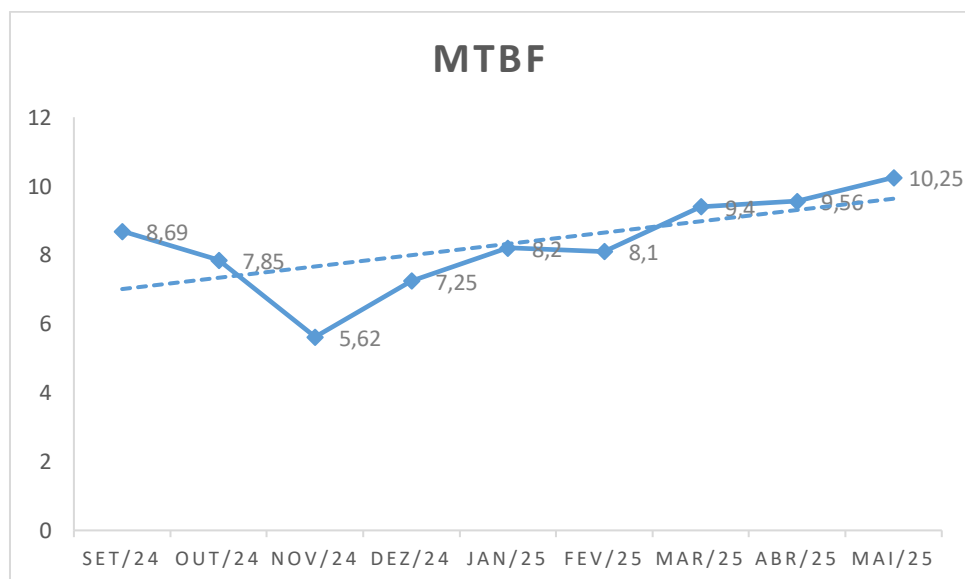


Figura 27 - Evolução do MTBF (h) (Mean Time Between Failures)

Destaca-se ainda o contributo da aplicação *PowerApp*, que viabilizou uma comunicação célere e estruturada de anomalias, permitindo uma atuação mais rápida e eficaz, e prevenindo a reincidência de falhas anteriormente negligenciadas.

A análise deste indicador confirma que as ações implementadas tiveram um impacto direto na fiabilidade da máquina, contribuindo para maior continuidade produtiva e redução de intervenções técnicas não programadas.

5.1.4. MTTR (*Mean Time To Repair*)

A Figura 28 apresenta a evolução do indicador MTTR, expresso em minutos, que representa o tempo médio necessário para restaurar a funcionalidade da máquina DRO 1628 NT após a ocorrência de uma falha. Este indicador reflete diretamente a eficácia da equipa de manutenção e a capacidade da organização em reagir rapidamente aos imprevistos.

Durante o último trimestre de 2024, observou-se uma tendência de crescimento gradual do MTTR, culminando no valor máximo de 30 minutos em janeiro de 2025. Este pico está associado ao acúmulo de falhas em equipamentos com manutenção preventiva insuficiente, à comunicação deficiente entre operadores e equipa técnica, bem como à ausência de um planeamento estruturado das intervenções.

A partir de fevereiro de 2025, com a implementação plena da aplicação *PowerApp* e a consolidação das rotinas de manutenção autónoma, registou-se uma redução acentuada e sustentada do MTTR. Em maio, o indicador atinge 16,2 minutos, o valor mais baixo do período analisado, o que representa uma melhoria de 46% face ao valor máximo, evidenciando um aumento significativo da eficiência nas intervenções técnicas.

Este progresso resulta da combinação de vários fatores:

- Submissão estruturada e imediata dos pedidos via *PowerApp*, com descrição detalhada da anomalia, grau de urgência e anexos visuais, permitindo melhor preparação prévia da equipa de manutenção;
- Atribuição clara de responsabilidades, com identificação do técnico responsável por cada intervenção;
- Redução do tempo de diagnóstico, facilitada pela padronização dos relatos dos operadores e pelo acesso ao histórico digital dos pedidos;
- Disponibilidade imediata de ferramentas e componentes, assegurada pela organização física segundo os princípios do 5S.

Importa sublinhar que esta melhoria não comprometeu o volume de produção, nem originou aumentos nos tempos de *setup*, o que confirma a eficácia operacional real das intervenções implementadas.

A evolução positiva do MTTR, em articulação com os resultados do MTBF (subtópico anterior), comprova que a manutenção passou a atuar de forma mais preventiva, célere e orientada por dados, consolidando um modelo de resposta eficaz, que minimiza o impacto das falhas sobre a produção e maximiza a disponibilidade dos equipamentos.

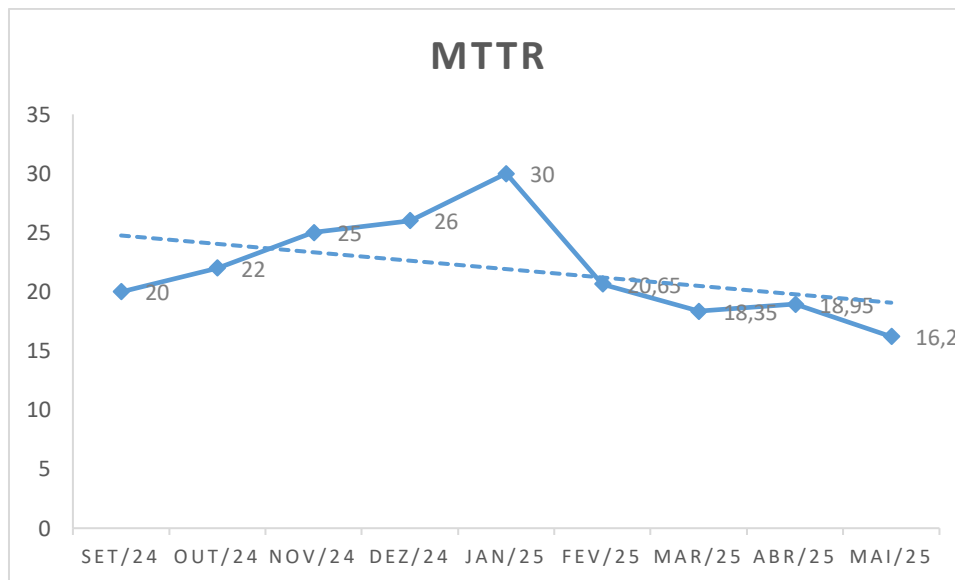


Figura 28 - Evolução do MTTR (min) (Mean Time To Repair)

5.2. Discussão de resultados

A análise dos indicadores operacionais ao longo dos últimos nove meses permitiu concluir que as ações implementadas na unidade *Celpack* tiveram um impacto real e mensurável na performance da máquina DRO 1628 NT. As melhorias observadas abrangeram não apenas aspetos técnicos, mas também organizacionais, operacionais e comportamentais, refletindo-se diretamente na estabilidade da produção e na fiabilidade dos equipamentos.

A produtividade da máquina, medida em metros quadrados por hora, evidenciou uma tendência de crescimento sustentado, com os valores mais elevados registados nos últimos meses do período analisado. Este indicador demonstrou uma eficiência crescente do processo produtivo, fruto da redução das interrupções, da execução regular das verificações de rotina e da melhor organização dos recursos junto ao posto de trabalho.

O aumento da produção mensal, analisado em paralelo, reforça esta interpretação, revelando que o equipamento se manteve mais disponível e funcional ao longo dos turnos, maximizando o tempo útil de operação e reduzindo o impacto das paragens inesperadas.

A fiabilidade do sistema foi confirmada pela evolução positiva do MTBF, que praticamente duplicou no período analisado. Este resultado demonstra uma redução da frequência de falhas, atribuída à adoção de rotinas sistemáticas de manutenção autónoma e à deteção precoce de anomalias pelos operadores. Por sua vez, a redução do MTTR confirma que, quando ocorrem falhas, estas são resolvidas de forma mais rápida e eficaz, beneficiando da organização física do posto de trabalho e da estruturação digital dos pedidos de intervenção.

Destaca-se, neste contexto, o papel da aplicação *PowerApp* como ferramenta facilitadora de comunicação e planeamento técnico. A sua utilização permitiu aos operadores reportar anomalias de forma clara e imediata, com informação objetiva e estruturada, possibilitando à equipa de manutenção atuar com maior precisão e reduzir o tempo de inatividade, como evidenciado pela evolução descendente do MTTR.

Para além dos indicadores técnicos, são também visíveis ganhos intangíveis, nomeadamente o aumento da responsabilização dos operadores, a melhoria da comunicação entre equipas e a consolidação de uma cultura de prevenção, os quais, embora difíceis de quantificar, contribuem significativamente para a performance global da operação.

De forma geral, os resultados obtidos são coerentes com os objetivos estabelecidos no início do projeto e demonstram que as intervenções realizadas não consistiram em ações pontuais, mas sim em melhorias sustentadas, com impacto prático e replicável, que estabelecem as bases para uma abordagem de manutenção mais autónoma, digitalizada e integrada.

6. Conclusão

No decorrer do presente trabalho de dissertação foram sendo apresentadas diversas conclusões parciais com base na evolução do projeto e na análise dos resultados obtidos. Neste capítulo, é realizada a última fase da metodologia investigação-ação, a reflexão. Foram reunidas as considerações finais do trabalho desenvolvido, tendo por base os objetivos inicialmente definidos e a sua concretização prática na unidade industrial da *Celpack*.

Por fim, apresentam-se algumas das dificuldades encontradas ao longo da implementação, bem como propostas de melhoria e linhas de continuidade futura, com vista à consolidação das práticas de manutenção autónoma e digital, reforçando o papel estratégico da manutenção na fiabilidade dos ativos e na eficiência global da operação.

6.1. Conclusões finais

A presente dissertação teve como finalidade melhorar a gestão da manutenção preventiva e reforçar a fiabilidade dos ativos na unidade industrial *Celpack* da *Smurfit Westrock*, através da aplicação prática de metodologias estruturadas de manutenção. O projeto focou-se na máquina DRO 1628 NT, identificada como uma das mais críticas da unidade, tanto pelo seu volume de produção como pelas exigências técnicas associadas.

A abordagem adotada baseou-se na metodologia *Action Research*, permitindo uma atuação iterativa e adaptada à realidade do terreno. Ao longo do trabalho, foram implementadas ações concretas como:

- A análise de criticidade de ativos, que fundamentou a escolha da máquina-alvo;
- A aplicação do programa *Fundamentals*, com manuais adaptados e folhas de verificação;
- A reorganização física dos postos de trabalho com base na metodologia 5S;

Conclusões

- A digitalização dos pedidos de manutenção através de uma aplicação em *Microsoft PowerApp*.

A análise dos indicadores operacionais ao longo de nove meses demonstrou uma evolução significativa:

- A produtividade (m^2/h) apresentou uma tendência de crescimento contínuo;
- O tempo médio entre falhas (MTBF) praticamente duplicou, indicando maior fiabilidade;
- O tempo médio de reparação (MTTR) foi reduzido em mais de 45%, refletindo intervenções mais rápidas e eficazes;
- A produção total mensal (m^2) atingiu os valores mais elevados do período analisado;
- A comunicação entre operadores e manutenção tornou-se mais estruturada e rastreável.

Para além dos resultados técnicos, registou-se uma melhoria visível na organização do trabalho, no envolvimento das equipas operacionais e na cultura de responsabilização dos colaboradores. A aplicação *PowerApps* revelou-se uma ferramenta eficaz na normalização dos pedidos e planeamento de intervenções, contribuindo para uma manutenção mais previsível e eficiente.

Em síntese, os objetivos definidos no início do projeto foram concretizados com sucesso, sendo evidente o impacto positivo das ações implementadas. Este trabalho permitiu estabelecer as bases para um sistema de manutenção mais autónomo, visual e digitalmente suportado.

6.2. Limitações e Trabalhos Futuros

Apesar dos resultados alcançados, o projeto enfrentou algumas limitações que condicionaram o seu grau de abrangência. A principal limitação prende-se com o facto de a implementação ter sido concentrada numa única máquina, o que não permite, por si só, validar a eficácia da metodologia em contexto mais alargado. Adicionalmente, a disponibilidade dos operadores para executar as verificações, especialmente em contextos de maior carga produtiva, foi um fator que limitou a frequência das rotinas definidas.

Outro desafio identificado foi a curva de aprendizagem inicial associada ao processo de produção de cartão canelado, bem como às máquinas industriais associadas ao processo produtivo.

Com base nestes pontos, propõem-se os seguintes trabalhos futuros (Tabela 17):

Tabela 17 - Propostas de continuidade e melhoria

Tema	Proposta de continuidade ou melhoria
Expansão da manutenção autónoma	Aplicar a ferramenta <i>Fundamentals</i> nos restantes equipamentos da <i>Celpack</i> .
Consolidação da digitalização de processos	Integrar a aplicação <i>PowerApp</i> com <i>dashboards</i> de análise de dados, com indicadores em tempo real.
Formação e capacitação de operadores	Desenvolver planos de formação e sensibilização contínua focados no 5S e na manutenção autónoma
Avaliação económica e sustentável	Quantificar ganhos económicos e ambientais associados à redução de falhas e desperdício.

Estas propostas visam dar continuidade ao trabalho realizado, permitindo que os ganhos obtidos se mantenham e sejam escalados para outras áreas da fábrica, contribuindo para um sistema de manutenção mais robusto, sustentável e alinhado com os objetivos estratégicos da organização.

Conclusões

Referências

- Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012). An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. *Computers & Industrial Engineering*, *63*(1), 135–149. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.02.002>
- Alsyouf, I. (2009). Maintenance practices in Swedish industries: Survey results. *International Journal of Production Economics*, *121*(1), 212–223. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.05.005>
- Au-Yong, C. P., Azmi, N., & Elyna, M. (2022). Promoting employee participation in operation and maintenance of green office building by adopting the total productive maintenance (TPM) concept. *Journal of Cleaner Production*, *352*, 131608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131608>
- Baral, C., Eiter, T., Bjärelund, M., & Nakamura, M. (2008). Maintenance goals of agents in a dynamic environment: Formulation and policy construction. *Artificial Intelligence*, *172*(12), 1429–1469. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.artint.2008.03.005>
- Begum, S., & Sumi, S. (2024). STRATEGIC APPROACHES TO LEAN MANUFACTURING IN INDUSTRY 4.0: A COMPREHENSIVE REVIEW STUDY. *International Journal of Science Technology Engineering and Mathematics*, *4*, 195–212. <https://doi.org/10.69593/ajsteme.v4i03.106>
- Crespo del Castillo, A., & Parlikad, A. K. (2024). Dynamic fleet management: Integrating predictive and preventive maintenance with operation workload balance to minimise cost. *Reliability Engineering & System Safety*, *249*, 110243. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110243>
- de Pater, I., & Mitici, M. (2021). Predictive maintenance for multi-component systems of repairables with Remaining-Useful-Life prognostics and a limited stock of spare components. *Reliability Engineering & System Safety*, *214*, 107761. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107761>
- Dehghan Shoorkand, H., Nourelfath, M., & Hajji, A. (2024). A hybrid deep learning approach to integrate predictive maintenance and production planning for multi-state systems. *Journal of Manufacturing Systems*, *74*, 397–410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.04.005>
- Destouet, C., Tlahig, H., Bettayeb, B., & Mazari, B. (2024). Multi-objective sustainable flexible job shop scheduling problem: Balancing economic, ecological, and social criteria.

Referências

- Computers & Industrial Engineering*, 195, 110419.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110419>
- Deymi-Dashtebayaz, M., Ghorbani, S., Khabbazi, H., & Asadi, M. (2024). 4E analysis and multi-objective optimization of an ejector-expansion cascade refrigeration system for building cold storage using low GWP refrigerants. *Journal of Building Engineering*, 98, 111470.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111470>
- Erkoyuncu, J. A., Khan, S., Eiroa, A. L., Butler, N., Rushton, K., & Brocklebank, S. (2017). Perspectives on trading cost and availability for corrective maintenance at the equipment type level. *Reliability Engineering & System Safety*, 168, 53–69.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.res.2017.05.041>
- Garcia, C. A., Caiza, G., Guizado, D., Naranjo, J. E., Ortiz, A., Ayala, P., & Garcia, M. V. (2023). Visualization of Key Performance Indicators in the Production System in the Context of Industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 56(2), 6582–6587.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.310>
- Ginste, L. Van De, Aghezzaf, E.-H., & Cottyn, J. (2022). The role of equipment flexibility in Overall Equipment Effectiveness (OEE)-driven process improvement. *Procedia CIRP*, 107, 289–294. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.047>
- Gomaa, A. (2024). Improving Shutdown Maintenance Management Performance Using Lean Six Sigma Approach: A Case Study. *International Journal of Applied and Physical Sciences*, 10, 1–14. <https://doi.org/10.20469/ijaps.10.50001>
- Halilintar, P., & Singgih, M. (2024). Effect of lean maintenance to reduce cost of sugar firms. *BIO Web of Conferences*, 146. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414601048>
- Hernandez-Vivanco, A., & Bernardo, M. (2023). Management systems and productive efficiency along the certification life-cycle. *International Journal of Production Economics*, 266, 109028. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.109028>
- Khedmati-Morasae, E., Zils, M., Hopkinson, P., Nolan, R., Charnley, F., Okorie, O., & Abu-Bakar, H. (2024). Advancing the discourse: A next-generation value chain-based taxonomy for circular economy key performance indicators. *Sustainable Production and Consumption*, 48, 219–234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.013>
- Levitin, G., Xing, L., & Dai, Y. (2024). Corrective maintenance minimizing expected mission losses in shock exposed multistate production-storage systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 252, 110430.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.res.2024.110430>
- Lopes, I., Senra, P., Vilarinho, S., Sá, V., Teixeira, C., Lopes, J., Alves, A., Oliveira, J. A., & Figueiredo, M. (2016). Requirements Specification of a Computerized Maintenance Management System – A Case Study. *Procedia CIRP*, 52, 268–273.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.047>

Referências

- Lundgren, C., Skoogh, A., & Bokrantz, J. (2018). Quantifying the Effects of Maintenance – a Literature Review of Maintenance Models. *Procedia CIRP*, 72, 1305–1310. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.175>
- Madreiter, T., & Ansari, F. (2024). From OEE to OSEE: How to reinforce Production and Maintenance Management Indicator Systems for Sustainability? *IFAC-PapersOnLine*, 58(8), 204–209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.08.121>
- Musthopa, Harsanto, B., & Yunani, A. (2021). *Usulan model pemeliharaan distribusi tenaga listrik menggunakan metode TRDX untuk meningkatkan keandalan pada pelanggan industri (Proposed electric power distribution maintenance model using the TRDX method to increase reliability for industrial customers)*. <https://doi.org/10.22441/10.22441/oe.2021.v13.i3.032>
- Özen, D. N., Hançer Gülerüz, E., & Acılar, A. M. (2024). Advanced exergo-economic analysis of an advanced adiabatic compressed air energy storage system with the modified productive structure analysis method and multi-objective optimization study. *Journal of Energy Storage*, 81, 110380. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.est.2023.110380>
- Pascal, V., Toufik, A., Manuel, A., Florent, D., & Frédéric, K. (2019). Improvement indicators for Total Productive Maintenance policy. *Control Engineering Practice*, 82, 86–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.09.019>
- Pereira, A., & Pereira, I. (2020). Design-based research and action-research: Two intersecting visions. *New Trends in Qualitative Research*, 2, 336–350. <https://doi.org/10.36367/ntqr.2.2020.336-350>
- Pérez Pérez, M., Pérez Rodríguez, Á. T., & de la Paz Martínez, E. M. (2022). Contribution to the sustainability of the plastics industry in Cuba through lean-green maintenance management. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1918–1923. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.679>
- Pilar Lambán, M., Morella, P., Royo, J., & Carlos Sánchez, J. (2022). Using industry 4.0 to face the challenges of predictive maintenance: A key performance indicators development in a cyber physical system. *Computers & Industrial Engineering*, 171, 108400. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108400>
- Qi, F., Yang, H., Wei, L., & Shu, X. (2024). Preventive maintenance policy optimization for a weighted k-out-of-n: G system using the survival signature. *Reliability Engineering & System Safety*, 249, 110247. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.res.2024.110247>
- Ranjith Kumar, R., Ganesh, L. S., & Rajendran, C. (2021). An entropy-based approach to 5S maturity. *Materials Today: Proceedings*, 46, 8103–8110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.048>
- Ribeiro, D., Forcellini, F., & Pereira, M. (2020). *Maintenance's value stream mapping as a useful tool for the implementation of lean maintenance: case study in an injection's sector of a thermoplastics company*. 5.

Referências

- Ribeiro, I. M., Godina, R., Pimentel, C., Silva, F. J. G., & Matias, J. C. O. (2019). Implementing TPM supported by 5S to improve the availability of an automotive production line. *Procedia Manufacturing*, *38*, 1574–1581.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.128>
- Roda, I., & Macchi, M. (2021). Maintenance concepts evolution: a comparative review towards Advanced Maintenance conceptualization. *Computers in Industry*, *133*, 103531.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103531>
- Ruan, Y., Yu, J., Luo, X., Huang, W., & Ding, X. (2024). Condition-based maintenance policy for shared service-oriented leased equipment. *Computers & Industrial Engineering*, *198*, 110643. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110643>
- Saihi, A., Ben-Daya, M., & As'ad, R. (2022). A Survey of the Underlying Success Factors of Maintenance Digital Transformation. *IFAC-PapersOnLine*, *55*(10), 2944–2949.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.179>
- Schumacher, A., & Sihm, W. (2020). Development of a Monitoring System for Implementation of Industrial Digitalization and Automation using 143 Key Performance Indicators. *Procedia CIRP*, *93*, 1310–1315.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.012>
- Shannon, N., Trubetskaya, A., Iqbal, J., & McDermott, O. (2023a). A total productive maintenance & reliability framework for an active pharmaceutical ingredient plant utilising design for Lean Six Sigma. *Heliyon*, *9*(10), e20516.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20516>
- Shannon, N., Trubetskaya, A., Iqbal, J., & McDermott, O. (2023b). A total productive maintenance & reliability framework for an active pharmaceutical ingredient plant utilising design for Lean Six Sigma. *Heliyon*, *9*, 20516.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20516>
- Shou, W., Wang, X., Wang, J., Hou, L., & Truijens, M. (2014). *Integration of BIM and Lean Concepts to Improve Maintenance Efficiency: A Case Study*.
<https://doi.org/10.1061/9780784413616.047>
- Simeu-Abazi, Z., lung, B., Leger, J. B., & Ly, F. (2000). Maintenance in the Manufacturing Systems. *IFAC Proceedings Volumes*, *33*(17), 831–836.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)39511-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)39511-3)
- Souifi, A., Boulanger, Z. C., Zolghadri, M., Barkallah, M., & Haddar, M. (2022). Uncertainty of key performance indicators for Industry 4.0: A methodology based on the theory of belief functions. *Computers in Industry*, *140*, 103666.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103666>
- Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Cauchick-Miguel, P. A., Kurnia, S., & Jurburg, D. (2021). Integration of Industry 4.0 technologies into Total Productive Maintenance practices. *International Journal of Production Economics*, *240*, 108224.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108224>

Referências

- Tripp, D. (2005). Pesquisa-ação: uma introdução metodológica (Action research: a methodological introduction). *Educação e Pesquisa*, 31(3), 443–466. <https://doi.org/10.1590/S1517-97022005000300009>
- Van Horenbeek, A., & Pintelon, L. (2014). Development of a maintenance performance measurement framework—using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. *Omega*, 42(1), 33–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.02.006>
- Vijayakumar, S. R., & Suresh, P. (2022). Lean based cycle time reduction in manufacturing companies using black widow based deep belief neural network. *Computers & Industrial Engineering*, 173, 108735. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108735>
- Waeyenbergh, G., & Pintelon, L. (2004). Maintenance concept development: A case study. *International Journal of Production Economics*, 89(3), 395–405. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.09.008>
- Widiwati, I. T. B., Liman, S. D., & Nurprihatin, F. (2024). The implementation of Lean Six Sigma approach to minimize waste at a food manufacturing industry. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.01.022>
- Yücenur, G. N., & Şenol, K. (2021). Sequential SWARA and fuzzy VIKOR methods in elimination of waste and creation of lean construction processes. *Journal of Building Engineering*, 44, 103196. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103196>
- Zarreh, A., Wan, H., Lee, Y., Saygin, C., & Janahi, R. Al. (2019). Cybersecurity Concerns for Total Productive Maintenance in Smart Manufacturing Systems. *Procedia Manufacturing*, 38, 532–539. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.067>
- Zhang, J., Chen, X., An, Y., Zhang, L., Shi, H., & Xu, W. (2024). Joint optimization of preventive maintenance and product quality improvement policies for deteriorating manufacturing systems with quality-reliability dependency. *Reliability Engineering & System Safety*, 110661. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110661>
- Zonta, T., da Costa, C. A., da Rosa Righi, R., de Lima, M. J., da Trindade, E. S., & Li, G. P. (2020). Predictive maintenance in the industry 4.0: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 106889. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106889>

Referências

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: Jorge Nuno Vicência de Faria

ISEP, Porto, 14 de junho de 2025

Apêndice A


Smurfit Kappa FOLHA DE OBSERVAÇÕES Máquina: Bobst 618

O.T.	Observações	Data	Hora
	Alimentador - Erro: Anomalia Encoder Empurrador. Erro provoca a paragem de alimentação.		
	Necessário intervenções de manutenção. Intervenção efetuada: Desligar a máquina e voltar a ligar.		
	Verificação visual. Erro já aconteceu 3x nas ultimas 24h. Perda de produção.		

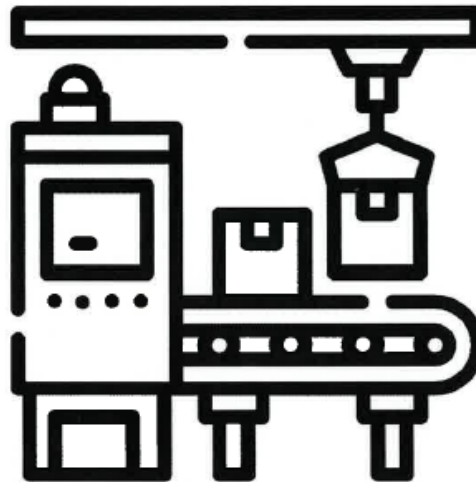
Nome do responsável: Andressa P.G.

SP025/01

Apêndice B

 Smurfit Westrock	Versão 0	MT_F_04
--	----------	---------

DRO 1628 NT ROTARY DIE CUTTER



FUNDAMENTALS











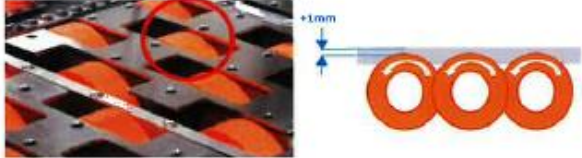





Destinatário: BOBST, DRO Departamento: TRANSFORMAÇÃO CELPACK Cópia: CONTROLADA		
REVISTO POR: FARIA, JORGE ADJUNTO DIRETOR DE PRODUÇÃO		APROVADO POR: OLIVEIRA, EUGÊNIO DIRETOR DE PRODUÇÃO
VERSÃO: 0	DATA DE IMPLEMENTAÇÃO: 26/12/2024	Pág. 1

Apêndice C

Índice

Introdutor	0
RDC.FE.BC.01.VW	1
RDC.FE.CA.01	3
RDC.FE.CA.02.....	4
RDC.FE.CA.03.....	6
RDC.FE.CA.04.....	8
Unidade de impressão	
PRI.AR.BC.03.CB	9
PRI.AR.BC.06.CB	11
PRI.AR.BC.07.CB.....	13
PRI.PU.CA.02.....	15
PRI.PU.CA.08.....	16
Unidade de corte	
RDC.DC.BC.01.....	17
RDC.DC.BC.02.....	19
RDC.DC.BC.04.....	22
RDC.DC.BC.06.....	24
RDC.DC.CA.01.....	25
RDC.DC.CA.02.....	27
Separador	
RDC.ST.BC.01.VB	29

Apêndice D

 Fundamentals 			
Padrão de excelência técnico e operacional	Máquina	Módulo	Condição Básica
Verificação dos componentes básicos do introdutor	RDC	 Introdutor	
	Frequência: Mensal	RDC.FE.BC.01.VW	
 Transporte das folha do funil de alimentação para os rolos de alimentação de forma paralela e no momento certo.			
 Evitar o impacto entre produtos: Problemas de registo entre cores Variação de tamanho Perda de espessura Corte e vincagem imprecisos		Evitar problemas de produtividade: Falhas de alimentação Esmagamento da placa Atolamentos Desvio da folha	
 Standard:			
RODAS DE VÁCUO			
1	Rodas de entrada: Verifique se há desgaste ou danos nas rodas de alimentação.	 Rodas danificadas	
	As rodas devem ser trocadas anualmente como um todo para garantir aderência uniforme.		
 Rodas em boas condições	 Trocar todas as rodas		
2	Posição relativa entre as rodas de alimentação e as placas de introdução (alimentação interrompida): A distância entre as placas e as rodas deve ser de pelo menos +1 mm		
	 Distância de pelo menos 1 mm	 Ajuste o mecanismo	
3	Posição relativa entre as rodas de alimentação e as placas de introdução (posição de alimentação): Em posição de alimentação, a placa desce para que as rodas entrem em contacto com o cartão. A distância deve ser de pelo menos - 1mm.		
	 Distância de pelo menos -1 mm	 Ajuste o mecanismo	

Data: / /

Unidade	Tipo	Documento	Etapa	Dimensão	Frequência	Valor Atual	Valor do Display	Valor de referência	Tolerância	Necessita Ajuste
Rodas de vácuo	Verificação dos componentes básicos do introdutor	RDC.FE.BC.01.VW (Pág. 1)	1	Rodas de entrada	Semanal			Novo/Bom/Aceitável/Necessita substituição	Aceitável	
			2	Altura das rodas relativa ao prato introdutor (alinhamento Interrompida)	Semanal			pelo menos 1mm	NA	
			3	Altura das rodas relativa ao prato introdutor (posição Interodutora)	Semanal			pelo menos -1mm	NA	
Prato de alimentação	Verificação dos componentes básicos do introdutor	RDC.FE.BC.01.VW (Pág. 1)	1	Condição do prato de alimentação	Semanal			Novo/Bom/Aceitável/Necessita substituição	Aceitável	
			Rodas de vácuo							
Rolo Introdutor	Verificação dos componentes básicos do introdutor	RDC.FE.BC.01.VW (Pág. 1)	1	Condição do rolo introdutor	Mensal			Novo/Bom/Aceitável/Necessita substituição	Bom	
Todas	Paralelismo do batente traseiro do introdutor	RDC.FE.CA.01 (Pág. 3)	1	Distância	Mensal			A=B	1 mm	
Todas	Paralelismo dos rolos de alimentação no introdutor	RDC.FE.CA.02 (Pág. 4)	1	Espaço entre os rolos	Mensal			Lado motor = Lado operador/Valor físico = Dial	0,20 mm	
Todas	Paralelismo dos bateadores do introdutor	RDC.FE.CA.03 (Pág. 6)	1	Altura dos bateadores	Mensal			Lado motor = Lado operador/Valor físico = Dial	0,20 mm	
Todas	Paralelismo dos bateadores laterais do introdutor	RDC.FE.CA.04 (Pág. 8)	1	Distância entre os calibradores	Mensal			A ≤ B	A ≤ 9	
Folha de verificação - Unidade de impressão										
Rolo de borracha	Sistema de dosamento, camera, rasqueta e goma	PRL.A.R.BC.03.CB (Pág. 9)	1	Limpeza e estado	Semanal			Novo/Bom/Aceitável/Necessita substituição	Limpo/Bom	
			1	Estado dos rolos impressores	Semanal					
Todas	Limpeza geral da unidade de impressão	PRL.PU.BC.06.CB (Pág. 11)	2	Estado do sistema de vácuo	Semanal			Limpo/Sujo	Limpo/Boas condições	
			3	Limpeza e estado	Semanal			Limpo/Sujo	Limpo/Boas condições	
			6	Verificação das cassetes	Semanal					
Secadores	Limpeza dos secadores de halogênio	PRL.A.R.BC.07.CB (Pág. 13)	(1-5)	Paralelismo do rolo de goma / anilox	Mensal			Novo/Bom/Aceitável/Necessita substituição	Bom	
Todas	Verificação do paralelismo do anilox com o clichê	PRL.PU.CA.08 (Pág. 15)	(1-2)	Paralelismo do rolo impressor / contrapressão	Mensal			Lado operador = motor / Valor físico = Dial	0,20 mm	
Todas	Verificação do paralelismo do rolo impressor com o rolo de introdução	PRL.PU.CA.02 (Pág. 15)	(1-2)		Mensal			Lado operador = motor / Valor físico = Dial	0,20 mm	

Apêndice E

