



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE / DEPARTMENT OF
ENGENHARIA QUÍMICA E BIOLÓGICA

Gestão da manutenção e análise da eficiência produtiva com foco na melhoria contínua

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia e Gestão de Ativos Físicos

Autor

José Luís Rodrigues Domingues

Orientador

José Luís Martinho

Supervisor na empresa Fucoli-Somepal, S.A

Engenheiro Pedro Quaresma

Coimbra, dezembro de 2025



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

AGRADECIMENTOS

A realização do presente relatório de estágio simboliza não apenas o término de uma etapa académica, mas acima de tudo reflete o apoio inestimável de várias pessoas, cujo contributo foi determinante para o êxito deste percurso. A todas elas, expresso a minha mais profunda e sentida gratidão.

Em primeiro lugar, é com grande estima e consideração que manifesto o meu sincero agradecimento ao meu orientador de estágio - Professor Doutor José Luís Martinho, pela incansável dedicação, disponibilidade e orientação, que se demonstraram imprescindíveis para a elaboração deste trabalho.

À empresa Fucoli-Somepal, S.A., com sede em Coimbra, dirijo uma palavra de especial reconhecimento pela oportunidade concedida de realizar este estágio, bem como pela forma calorosa como fui acolhido. Não posso deixar de assinalar, com especial apreço, o contributo do Departamento de Manutenção, cuja colaboração foi absolutamente crucial para a minha aprendizagem. Um sincero agradecimento ao Engenheiro Pedro Quaresma, ao Engenheiro André, e aos técnicos Renato Claret e Fausto Silva pela disponibilidade, competência e generosidade na partilha de saberes e experiências. A convivência com estes profissionais foi, sem dúvida, um dos pilares mais enriquecedores desta etapa formativa.

Por fim, mas de igual relevância, rendo o meu mais profundo agradecimento à minha família - especialmente aos meus pais e irmãos - assim como à minha namorada, cujo afeto incondicional, apoio e incentivo constantes constituíram alicerces basilares na superação dos desafios que este percurso exigente me impôs.

A todos o meu obrigado.

RESUMO

A gestão da manutenção aliada à análise de eficiência produtiva constitui um fator importante para a melhoria contínua de qualquer organização industrial. Por um lado, a manutenção garante que os equipamentos operam de forma fiável, minimizando paragens e prolongando a sua vida útil. Por outro, a análise da eficiência produtiva permite identificar perdas, eliminar desperdícios e revelar oportunidades de otimização. Este relatório descreve as atividades de gestão da manutenção desempenhadas ao longo de um estágio curricular de mestrado numa empresa de fundição.

Numa primeira fase é apresentada a empresa e o seu processo produtivo, com destaque para o funcionamento do departamento de manutenção, cuja função se revela fundamental para garantir o bom funcionamento da empresa. Neste contexto realizou-se uma análise crítica das práticas e foram desenvolvidas propostas de melhoria na gestão da manutenção.

A componente prática do estágio integrou diversas atividades relacionadas com a gestão da manutenção, nomeadamente a interação com o software de gestão de manutenção ManWinWin, a gestão de stock, a organização do armazém e ações de rotina de manutenção preventiva. Destaca-se a análise aprofundada da eficiência da linha de produção que envolveu a recolha e tratamento sistemático de dados seguida de avaliações de desempenho, disponibilidade e qualidade, culminando no cálculo do OEE. Paralelamente, foi analisado o resultado de um investimento recente, avaliando o seu contributo para a eficiência operacional. Esta análise permitiu identificar perdas produtivas, quantificar tempos de paragem e propor ações de melhoria orientadas para o aumento do OEE e da produtividade global da empresa.

O estágio contribuiu significativamente para o reforço das práticas de manutenção na empresa, promovendo melhorias na organização, no controlo e na análise operacional, de forma a reagir proativamente na identificação de oportunidades de otimização. Proporcionou uma consolidação das competências técnicas na área da gestão da manutenção industrial.

Palavras-Chave: Gestão da manutenção, eficiência, melhoria contínua, gestão de stock, OEE

ABSTRACT

Maintenance management combined with the analysis of production efficiency is an important factor for the continuous improvement of any industrial organization. On the one hand, maintenance ensures that equipment operates reliably, minimizing downtime and extending its service life. On the other hand, productivity efficiency analysis makes it possible to identify losses, eliminate waste, and reveal optimization opportunities. This report describes the maintenance management activities carried out during a master's curricular internship at a foundry company.

In the initial phase, the company and its production process are presented, with particular emphasis on the operation of the maintenance department, whose role is essential to ensure the proper functioning of the organization. In this context, a critical analysis of existing practices was carried out and improvement proposals for maintenance management were developed.

The practical component of the internship integrated several activities related to maintenance management, namely interaction with the ManWinWin maintenance management software, stock management, warehouse organization, and routine preventive maintenance tasks. Special emphasis is given to the detailed analysis of the production line's efficiency, which involved systematic data collection and processing, followed by assessments of performance, availability, and quality, culminating in the calculation of the Overall Equipment Effectiveness (OEE). In parallel, the impact of a recent investment was analysed, evaluating its contribution to operational efficiency. This analysis made it possible to identify productive losses, quantify downtime, and propose improvement actions aimed at increasing OEE and the company's overall productivity.

The internship contributed significantly to strengthening maintenance practices within the company, promoting improvements in organization, control, and operational analysis, enabling a proactive response in identifying optimization opportunities. It also provided a solid consolidation of technical skills in industrial maintenance management.

Keywords: Maintenance management, efficiency, continuous improvement, stock management, OEE

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice.....	iv
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Simbologia e abreviaturas	ix
1 Introdução	1
1.1 Objetivos e metodologia	1
1.2 Estrutura do relatório de estágio	2
2 Apresentação da empresa – Fucoli-Somepal S.A.	3
2.1 Visão, missão e valores da empresa	3
2.2 Produtos produzidos pela empresa.....	4
2.3 Processo produtivo	6
2.3.1 Setor da Carpintaria, desenho e CNC.....	6
2.3.2 Setor da Macharia	9
2.3.3 Sector da Fundição.....	12
2.3.4 Sector da Granalha	13
2.3.5 Sector da Rebarbação.....	15
2.3.6 Setor da maquinação	17
2.3.7 Setor da pintura.....	17
2.3.8 Setor de montagem	17
2.3.9 Sector de Armazém.....	18
2.3.10 Departamento de manutenção	18
3 Revisão da literatura.....	20
3.1 Gestão de Ativos.....	20
3.1.1 Enquadramento	20
3.1.2 Família ISO 5500X.....	20
3.2 Manutenção.....	22
3.2.1 Evolução histórica da manutenção	23
3.2.2 Tipos de Manutenção.....	24

3.3	Níveis de Manutenção	27
3.4	Gestão da Manutenção	27
3.5	Manutenção Lean	29
3.5.1	Filosofia Lean	29
3.5.2	Ferramentas de apoio à Manutenção Lean	30
4	Trabalhos desenvolvidos durante o estágio	37
4.1	Sistema de Informação de apoio à gestão de manutenção com o ManWinWin	37
4.2	Gestão de stock no departamento de manutenção	40
4.3	Organização de armazém	43
4.3.1	Implementação dos 5s	44
4.3.2	Realização de inventário e atualização da folha de inventário	49
4.4	Análise da eficiência da linha de produção	50
4.4.1	Enquadramento	50
4.4.2	Processo de aquisição de dados	54
4.4.3	Análise da produção	57
4.4.4	Análise de desempenho	58
4.4.5	Análise da disponibilidade	60
4.4.6	Análise de qualidade	62
4.4.7	Overall Equipment Effectiveness (OEE)	63
4.5	Ações de Manutenção Preventiva Sistemática	65
4.5.1	Calibração da sonda de medição de pH	65
4.5.2	Rotina da máquina da granalha	70
5	Conclusão	72
	Referências	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Produtos realizados pela Fucoli-Somepal [3]	5
Figura 2.2 - Processo produtivo da Fucoli-Somepal, S.A [2]	6
Figura 2.3 - Placas moldes	7
Figura 2.4 - Tampa com letreiro	8
Figura 2.5 - Placas molde armazenadas	9
Figura 2.6 - Caixa de moldação com machos para formar cavidades internas nas peças	10
Figura 2.7 - Machos utilizado para formar zonas ocas de encaixe na tampa	10
Figura 2.8 - Produção de machos na caixa de moldação	11
Figura 2.9 - Macho revestido com base aquosa	11
Figura 2.10 - Caixa de moldação inferior e superior respetivamente	12
Figura 2.11 - Tapete metálico	13
Figura 2.12 - Cesto com peças por granalhar	14
Figura 2.13 - a) Peças antes do processo de granalhagem b) Peças após o processo de granalhagem	15
Figura 2.14 - Pintura por imersão	16
Figura 2.15 - a) Montagem de peças b) Embalamento de peças	16
Figura 2.16 - Marco de incêndio da Fucoli-Somepal [4]	18
Figura 3.1 - Evolução da manutenção [21]	23
Figura 3.2 - Tipos de manutenção [20]	24
Figura 3.3 - Sinalização visual de avaria	31
Figura 3.4 - Notificação de avarias enviada para a equipa de manutenção	32
Figura 4.1 - Criação da ordem de trabalho	38
Figura 4.2 - Introdução de horas na intervenção	39
Figura 4.3 - Registo de consumíveis utilizados	39
Figura 4.4 - Kanban fixo e móvel	41
Figura 4.5 – Exemplo de cartões kanban para gestão de consumíveis na manutenção	42
Figura 4.6 - Remoção de embalagens vazias	45
Figura 4.7 - Remoção de materiais obsoletos	45
Figura 4.8 - Prateleira na forma inicial com consumíveis pouco visíveis	46

Figura 4.9 - Prateleira organizada e com todos os consumíveis visíveis.....	47
Figura 4.10 – Guindastes antes e depois de desenvolver o suporte.....	48
Figura 4.11 – Excerto da folha de inventário atualizada	50
Figura 4.12 - Colher de vazamento automático (Tundish).....	51
Figura 4.13 - Sistema Dyutec	52
Figura 4.14 - Tapete metálico após desmoldamento	53
Figura 4.15 - Porta placas da máquina de moldar	54
Figura 4.16 - Acionamento de alerta de avaria.....	55
Figura 4.17 - Layout máquina de moldar.....	56
Figura 4.18 - Layout com informação sobre moldações e uma paragem.....	56
Figura 4.19 - Layout com tempos de paragem diários.....	57
Figura 4.20 - Comparação mensal da média diária de moldações boas: 2023 vs 2024	58
Figura 4.21 - Evolução do desempenho em 2023 e 2024	59
Figura 4.22 - Desempenho antes e depois de agosto de 2023.....	59
Figura 4.23 - Evolução da disponibilidade em 2023 e 2024.....	60
Figura 4.24 - Comparação entre horas de paragem: 2023 vs 2024.....	61
Figura 4.25 - Análise detalhada de paragens	62
Figura 4.26 – Evolução da qualidade em 2023 e 2024.....	63
Figura 4.27 - OEE 2023 vs 2024.....	64
Figura 4.28 - Sistema de controlo de pH.....	66
Figura 4.29 a) Desmontar copo do filtro b) Lavagem do filtro.....	67
Figura 4.30 – a) Desmontar copo da sonda b) Sonda de medição.....	67
Figura 4.31 - Seleção de calibração automática.....	68
Figura 4.32 - Calibração da sonda de pH	68
Figura 4.33 - Registo da data da calibração	69
Figura 4.34 - Layout sistema de calibração de pH.....	69
Figura 4.35 - Máquina da granalha	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1 - Principais vantagens e desvantagens da manutenção preventiva	26
Tabela 3-2 - Níveis de manutenção [33]	27
Tabela 4-1 - Dados analisados	57

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

OEE - Overall Equipment Effectiveness

KPI – Key Performance Indicator

EDA – Etildimetilamina

ISO - International Organization for Standardization

TPM - Total Productive Maintenance

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório insere-se no âmbito do estágio curricular desenvolvido no decorrer do 2º ano do Mestrado em Engenharia e Gestão de Ativos Físicos, lecionado no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), durante o ano letivo de 2024/2025.

Entre as possibilidades previstas para a conclusão do 2º ciclo de estudos optei pela realização de um estágio curricular, decisão motivada pelo desejo de aprofundar o meu conhecimento prático acerca da realidade empresarial, bem como de compreender, mais concretamente, o funcionamento interno de uma organização industrial. Esta escolha revelou-se particularmente pertinente, na medida em que permitiu o contacto direto com o ambiente profissional e me proporcionou uma valiosa experiência imersiva no setor da manutenção de ativos físicos.

O estágio realizado na empresa Fucoli-Somepal, S.A., teve início a 14 de outubro de 2024 e constituiu uma oportunidade singular de integração com a equipa de manutenção, possibilitando uma interação contínua com os diversos ativos físicos da organização, em pleno chão de fábrica bem como a análise dos mesmos. Esta experiência permitiu-me não somente a aplicação dos meus conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do meu percurso académico, mas também o desenvolvimento de competências técnicas e interpessoais para a minha futura atividade profissional.

1.1 Objetivos e metodologia

No início do estágio foram definidos alguns objetivos gerais, entre os quais se destacou a oportunidade de entrar em contacto com o mercado de trabalho e compreender o seu funcionamento no âmbito da gestão da manutenção e da organização industrial. Procurou-se ainda identificar oportunidades de melhoria e constrangimentos presentes na empresa, com o intuito analisá-los e desenvolver propostas que impulsionassem a melhoria contínua.

Sobretudo no início foi dada especial atenção ao acompanhamento dos processos produtivos, bem como das intervenções de manutenção preventiva e corretiva, de forma a compreender a dinâmica da empresa e da equipa. Assim, foi possível perceber a organização das tarefas e o funcionamento da empresa, o que permitiu identificar fragilidades.

A partir desta primeira abordagem o estágio evoluiu para análise detalhada dos processos e das paragens, com foco no aumento da eficiência produtiva bem como da equipa da manutenção. Entre os objetivos destacaram-se:

- Acompanhar o processo produtivo e as intervenções de manutenção preventiva e corretiva;
- Implementar a metodologia 5S no armazém, promovendo mais organização e eficiência operacional na manutenção;
- Analisar KPI's relacionados com manutenção e produção;
- Analisar o OEE da linha produtiva, de modo a avaliar o impacto de investimentos realizados, e a identificar problemas para impulsionar a melhoria contínua;
- Desenvolver propostas de melhoria, alinhadas com princípios da gestão da manutenção e da melhoria contínua.

1.2 Estrutura do relatório de estágio

O presente relatório encontra-se dividido em 4 capítulos principais

- **Capítulo 1 – Introdução:** apresenta-se o enquadramento inicial do trabalho, incluindo a contextualização da empresa de acolhimento, os objetivos do estágio e a motivação.
- **Capítulo 2 – Apresentação da empresa:** descreve a Fucoli-Somepal, S.A de forma detalhada, com foco no processo produtivo, abrangendo os diversos setores bem como o funcionamento do departamento de manutenção.
- **Capítulo 3 – Revisão da literatura:** reúne os principais conceitos teóricos que serviram de suporte ao desenvolvimento do estágio, abordando temas relevantes para a gestão da manutenção e para a melhoria contínua.
- **Capítulo 4 – Trabalhos desenvolvidos durante o estágio:** é apresentada a descrição das atividades realizadas durante o estágio, entre as quais a gestão de stocks, a organização do armazém através da implementação dos 5S, a utilização de software ManWinWin e a análise do OEE da linha de produção. Este capítulo inclui ainda a descrição de intervenções de rotina realizadas no âmbito da manutenção, que contribuíram para consolidar conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico.

2 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA – FUCOLI-SOMEPAL S.A.

A Fucoli-Fundição Conimbricense, LDA foi fundada em 29 de julho de 1946 na cidade de Coimbra, com apenas 10 funcionários, tendo iniciado em 1949 a fabricação de materiais para o setor de abastecimento de água e saneamento. Mais tarde, a 2 de março de 1957, foi estabelecida a Somepal-Sociedade Metalúrgica da Pampilhosa, LDA na vila da Pampilhosa, dedicando-se à fabricação e comercialização de diferentes tipos de válvulas. Em dezembro de 1998, procedeu-se à fusão da Fucoli – Fundição Conimbricense, S.A. com a Somepal – Sociedade Metalúrgica da Pampilhosa, S.A, tornando-se uma unidade produtiva com maiores garantias de continuidade e crescimento, a Fucoli-Somepal – Fundição de Ferro, S.A [1].

Graças ao seu profundo conhecimento e experiência acumulada ao longo de décadas, a Fucoli-Somepal destaca-se como um dos fabricantes que opera exclusivamente na Europa, garantindo controlo total sobre todo o processo produtivo, desde a conceção até os testes finais.

A empresa opera atualmente com duas fábricas e orgulha-se de ser umas das últimas fundições com produção 100% europeia. Dispõe de um compromisso firme com valores e diretrizes que priorizam o atendimento ao cliente, o cumprimento de prazos e a modernização constante. As instalações modernas e a adoção da metodologia Lean possibilita à Fucoli-Somepal oferecer um alto padrão de qualidade, inovação, confiança, sustentabilidade e um excelente suporte pós-venda. Consolida-se como líder no mercado nacional, e mantém uma presença global já que exporta para mais de 60 países [1].

Com uma trajetória iniciada em 1946, a Fucoli-Somepal S.A. é uma empresa familiar que combina tradição e inovação, acumulando uma vasta experiência no desenvolvimento de produtos em ferro fundido para redes de água potável, esgoto, gás, telecomunicações e combate a incêndios [2].

A Fucoli-Somepal é certificada de acordo com normas internacionais, tais como:

- ISO 9001 – Sistemas de gestão de qualidade;
- ISO 14001 – Sistemas de gestão ambiental;
- ISO 45001 – Sistema de Gestão da Segurança e Saúde no trabalho;
- Produtos abrangidos por certificado de conformidade (CE).

2.1 Visão, missão e valores da empresa

Segundo a política de gestão apresentada no manual de acolhimento da Fucoli-Somepal S.A, a empresa tem como visão “ser uma empresa de excelência no seu ramo de atividade, harmonizando o seu desempenho técnico, económico e financeiro com os princípios de sustentabilidade” [2].

Os princípios da sua política [2] são:

- Satisfação do cliente nas suas necessidades e expectativas;
- Proteção do ambiente, através da prevenção da poluição, com a minimização dos impactos ambientais, e uso sustentável de recursos;
- Prevenção das lesões e afeções da saúde, eliminando os perigos e minimizando os riscos no local de trabalho;
- Criação de valor acrescentado para todas as partes interessadas;
- Cumprimento dos requisitos legais e regulamentares, normas e práticas, nacionais e internacionais, procurando ir sempre mais além do mero cumprimento;
- Melhoria contínua do que fazemos, com objetivos determinados;
- Motivação e formação dos recursos humanos, por forma a fomentar uma cultura de envolvimento e criatividade promovendo a geração de ideias;
- Assegurar a igualdade de oportunidades e de tratamento, procurando evitar todas as formas de discriminação não relacionada com os requisitos para a execução do trabalho;
- Prática de salários condignos de acordo com o custo de vida na região;
- Assegurar continuamente práticas facilitadoras de conciliação entre a vida profissional e pessoal;
- Assegurar a existência de um ambiente de trabalho atrativo, assegurando horas de trabalho razoáveis, condenando todas as práticas de trabalho infantil ou forçado;
- Promover a consulta e participação dos trabalhadores e seus representantes.

Como missão pretendem “ser parceiros de referência para todas as Entidades, na produção e fornecimento de produtos de ferro fundido, onde a Qualidade, a Inovação, o Ambiente, a Segurança e Saúde no Trabalho e a Responsabilidade Social, conjugadas com a aplicação das melhores técnicas disponíveis, asseguram a garantia da qualidade do que fazem, um desenvolvimento sustentável e uma atitude pró-ativa e responsável perante a sociedade em que nos inserimos”[2].

2.2 Produtos produzidos pela empresa

A Fucoli-Somepal dedica-se ao fabrico de peças em ferro fundido cinzento e nodular, tendo como principal objetivo fornecer uma ampla gama de produtos de elevada qualidade. Entre as peças produzidas encontram-se válvulas de cunha elástica, borboleta, retenção, flutuadoras, hidrantes e uma variedade de acessórios e soluções para redes de água, tratamento de águas residuais, distribuição de gás e

proteção contra incêndios. Na Figura 2.1 são apresentados alguns dos produtos produzidos na Fucoli-Somepal SA: Marcos de incêndio, tampas, válvulas.

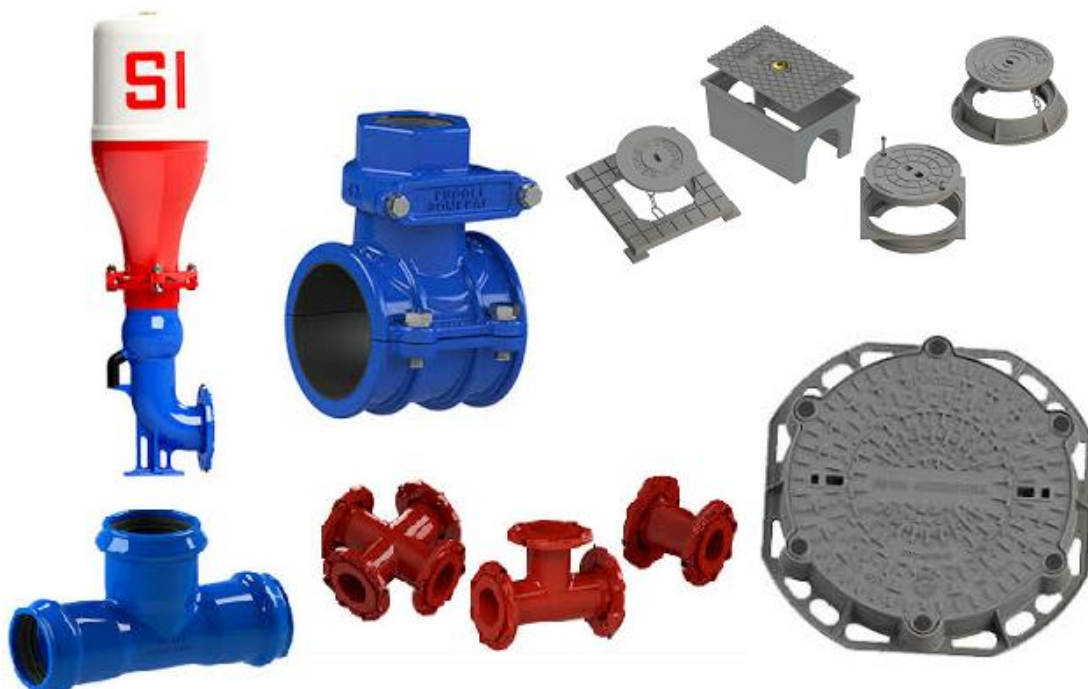


Figura 2.1 - Produtos realizados pela Fucoli-Somepal [3]

A Fucoli-Somepal S.A comercializa cerca de 50% dos seus produtos para o mercado interno, cujos principais clientes são:

- Armazenistas;
- Câmaras Municipais e serviços municipalizados;
- Empresas de construção civil e obras públicas;
- Outras empresas industriais;

Os restantes 50% da produção é destinada à exportação, destacando-se em mercados internacionais como:

1. Europa – Alemanha; Croácia; Dinamarca; Suíça; Ucrânia; Reino Unido; Holanda; Irlanda; Itália; Luxemburgo; Moldávia; Polónia; Roménia; República Checa; Chipre; Espanha; Grécia; França; Finlândia.
2. África – Uganda; Marrocos; Tunísia; Tanzânia; Senegal; República Democrática do Congo; República Centro-Africana; Quênia; Nigéria; Níger; Moçambique; Marrocos; Mali; Líbia; Guiné-Bissau; Egipto; Costa do Marfim; Chade; Cabo Verde; Burundi; Burkina Faso; Argélia.
3. América – Canadá; Argentina; Bolívia; Brasil; Canadá; Chile; Cuba; Equador; Jamaica; Uruguai.

4. Ásia – Emirados Árabes Unidos; Arábia Saudita; Iraque; Israel; Jordânia; Koweit; Macau; Omã; Qatar; Sri Lanka; Vietname; Iémen; Filipinas; Afeganistão; Azerbaijão; Cazaquistão
5. Oceânia – Austrália.

2.3 Processo produtivo

É ilustrado na Figura 2.2 um resumo do processo produtivo da Fucoli-Somepal S.A, em que a filial complementa a sede.

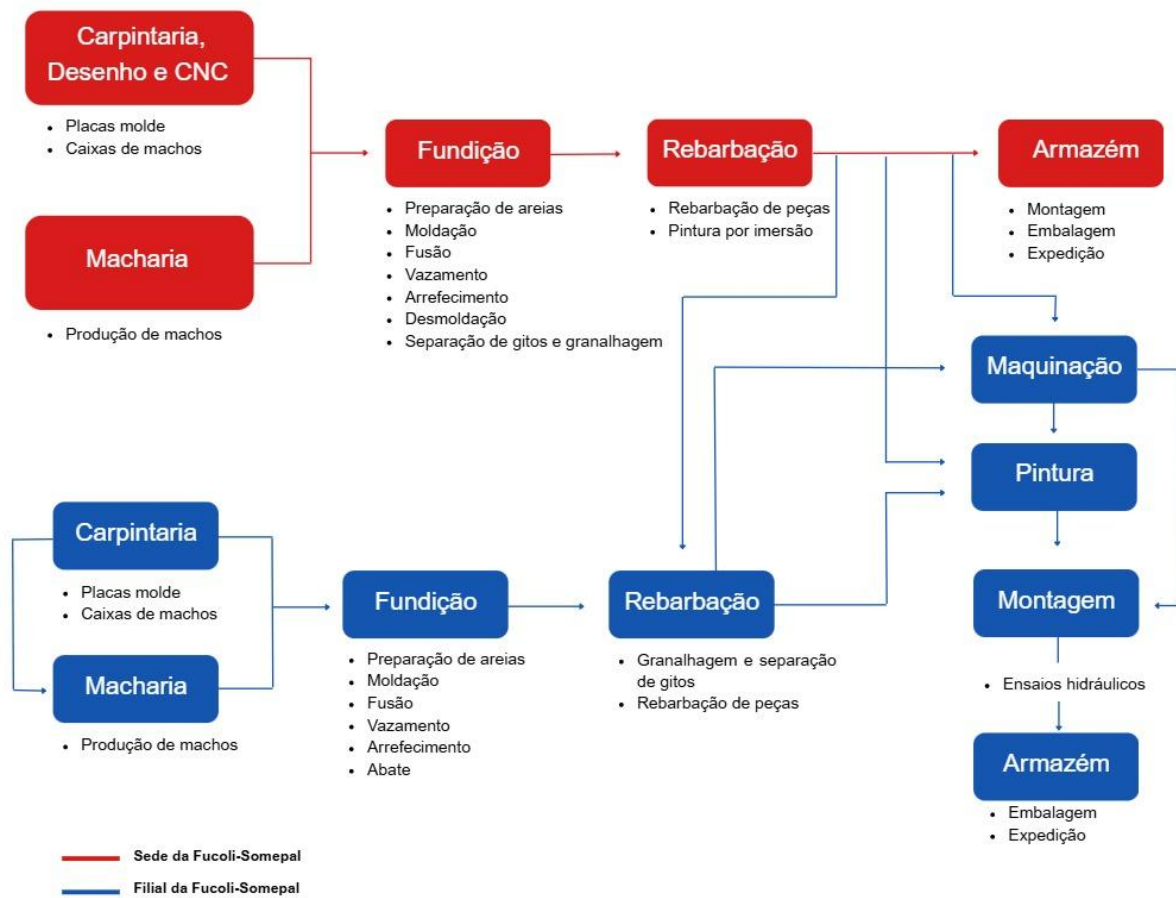


Figura 2.2 - Processo produtivo da Fucoli-Somepal, S.A [2]

2.3.1 Setor da Carpintaria, desenho e CNC

O processo produtivo da empresa tem início na carpintaria de moldes, onde são desenvolvidos os modelos dos produtos com recurso aos softwares CAD/CAM, de modo a garantir uma elevada precisão das peças finais. Estes modelos são desenvolvidos sempre com uma sobre dimensão de aproximadamente 1%, isto é, 1% maiores em termos dimensionais do que é desejado para a peça de ferro fundido de modo a compensar a contração natural do ferro fundido durante a fase de solidificação. Posteriormente são preparados os moldes, as placas-molde e as caixas

de machos através de máquinas CNC, que garantem a uniformidade e exatidão do processo.

Os moldes, divididos ao longo do eixo de simetria da peça, são fixados em placas-molde, sendo cada metade afixada numa placa-molde distinta: a meia moldação superior é instalada numa das placas-molde, enquanto a meia moldação inferior é afixada na outra, conforme ilustrado na Figura 2.3.

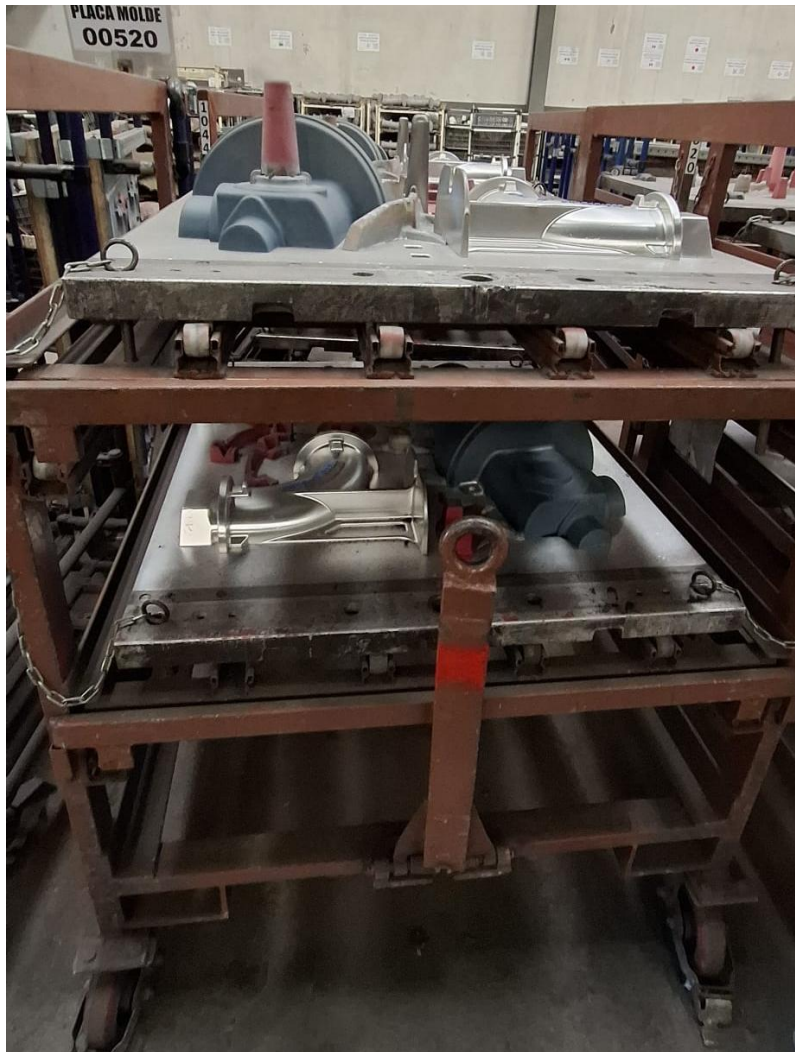


Figura 2.3 - Placas moldes

Com o objetivo de maximizar e otimizar o aproveitamento do espaço disponível nas placas-molde, é comum a aplicação simultânea de vários moldes, inclusive de peças distintas, cuja configuração varia consoante as encomendas recebidas. Entre os componentes passíveis de personalização, destacam-se os letreiros, sendo estes os únicos elementos removíveis, permitindo assim adaptar o produto final às exigências específicas de cada cliente.

No caso particular das tampas, adota-se uma placa-molde com base comum, na qual se integra um encaixe destinado à colocação do letreiro, conforme ilustrado na

Figura 2.4. Este encaixe, concebido para ser facilmente substituível, permite a rápida alteração do texto ou logótipo, viabilizando a produção de tampas personalizadas para diferentes clientes sem a necessidade de fabricar um molde completo para cada novo pedido.

Este sistema modular confere elevada flexibilidade ao processo produtivo, reduzindo significativamente os tempos de preparação e aumentando a capacidade de resposta da empresa a encomendas personalizadas de forma eficiente e económica.

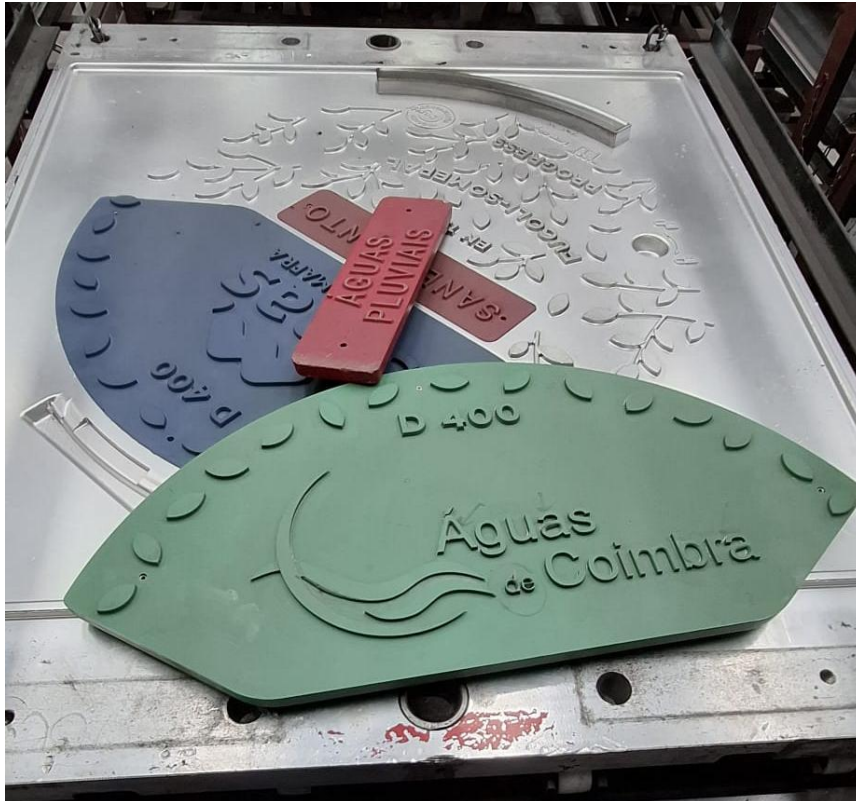


Figura 2.4 - Tampa com letreiro

Os moldes podem ser produzidos em resina, madeira ou alumínio e aplicados em placas-molde constituídas pelos mesmos materiais. Quando se pretende melhorar o acabamento superficial das peças ou garantir uma maior durabilidade, o alumínio é o material que proporciona um melhor resultado.

Pelo facto de existir uma grande quantidade de moldes, caixas de machos e placas-molde, predominam sistemas automatizados de armazenamento, nomeadamente os Kardex, permitindo armazenar componentes desmontados, como as caixas de machos, de forma eficiente, facilitando a organização e otimização do espaço no setor da carpintaria de moldes, conforme ilustrado na Figura 2.5.



Figura 2.5 - Placas molde armazenadas

Quando há a necessidade de voltar a produzir uma determinada peça, recorre-se ao sistema Kardex, onde previamente foram armazenados tanto a placa-molde como a respetiva caixa de machos, associados ao número de identificação da placa-molde. A introdução desse número no sistema permite a localização rápida e precisa dos componentes necessários, otimizando o tempo de preparação.

Depois de preparadas e montadas, as placas moldes são transportadas para perto da fundição e as caixas de machos para perto da macharia para se proceder à produção de machos. Para além disso, é realizado um controlo de qualidade às placas molde e às caixas de machos após um determinado número de moldações, com o objetivo de detetar eventuais desgastes ou anomalias, assegurando a continuidade do processo produtivo dentro de elevados padrões de qualidade e fiabilidade.

2.3.2 Setor da Macharia

O setor da macharia insere-se no processo produtivo como o responsável pelo fornecimento dos machos, elementos essenciais que serão posteriormente utilizados na fase de fundição. Os machos têm como função criar as cavidades internas das peças fundidas, permitindo a formação de zonas ocas no seu interior (Figura 2.6). Para além de definirem essas cavidades, os machos desempenham um papel crucial na determinação da espessura final das peças fundidas, uma vez que são colocados entre as meias moldações, assegurando a distância precisa entre as superfícies internas e externas da peça. Tal é o caso, por exemplo, das tampas, onde a exatidão dimensional dos machos é determinante para garantir a conformidade do produto final. Por esse motivo, a precisão na produção dos machos é de extrema importância para a qualidade e integridade das peças fundidas (Figura 2.7).



Figura 2.6 - Caixa de moldação com machos para formar cavidades internas nas peças



Figura 2.7 - Machos utilizado para formar zonas ocas de encaixe na tampa

O processo utilizado na produção de machos é conhecido como caixa fria (cold box), no qual a areia é misturada com dois componentes de resina - branca e preta - e posteriormente descarregada para um funil, que alimenta o doseador da máquina. Esta mistura é então injetada na caixa do macho, onde ocorre o seu endurecimento através do gaseamento com EDA, um catalisador que promove a reação química entre as resinas, acelerando significativamente a cura do macho.

Após o gaseamento, procede-se à injeção de ar seco, que tem como função realizar a limpeza e secagem do macho, deixando-o em condições ideais para o desmolde, conforme ilustrado na Figura 2.8.



Figura 2.8 - Produção de machos na caixa de moldação

Após a extração dos machos, à fase de acabamento, durante a qual são removidos os excessos de material e corrigidas eventuais imperfeições resultantes do processo de moldação. Os machos são normalmente pintados com uma tinta de base aquosa (Figura 2.9) que forma um revestimento protetor com múltiplas funções, nomeadamente, melhorar o acabamento superficial, aumentar a resistência térmica (capacidade refratária) e reforçar a impermeabilidade do macho, protegendo-o do contacto direto com o metal líquido durante a fundição.



Figura 2.9 - Macho revestido com base aquosa

As principais matérias-primas da produção de machos, que são introduzidas em quantidades de acordo com a receita e parâmetros de cada macho:

- Areia;
- Aglomerantes químicos, nomeadamente resina branca e preta;
- Catalisador, nomeadamente a etildimetilamina.

2.3.3 Sector da Fundição

O processo de moldação utilizado na empresa é conhecido como moldação em areia verde sendo os principais componentes os seguintes:

- Areia de tamanho e forma de grão extremamente fino;
- Aglomerante, nomeadamente a bentonite;
- Aditivo, nomeadamente o pó de carvão;
- Água, adicionada em quantidades adequadas com as propriedades pretendidas.

Os componentes mencionados anteriormente estão armazenados em diversos silos, de onde são encaminhadas quantidades pré-definidas, conforme as propriedades desejadas, por meio de sistemas de telas transportadoras até um misturador, denominado por moinho.

De seguida, a areia preparada é enviada através do sistema de telas de transporte para alimentar a máquina de moldar, sendo doseada por um equipamento específico, garantindo a quantidade exata necessária para cada caixa de moldação. Cada caixa corresponde a uma meia moldação, que será prensada alternadamente na placa-molde referente às partes inferior e superior da peça a fundir. As meias moldações, - ou seja, as duas metades da caixa de moldação - são então encaminhadas para a zona de colocação dos machos, onde os mesmos são aplicados na meia moldação inferior (Figura 2.10). De seguida, a caixa de moldação superior é colocada em cima da inferior, completando a caixa de moldação.



Figura 2.10 - Caixa de moldação inferior e superior respetivamente

Após o arrefecimento do ferro fundido, o material contido nas caixas é retirado e submetido a processos de acabamento, tais como granalhagem, rebarbação e pintura. Trata-se de uma linha de produção que depende da integração de diversos processos.

2.3.4 Sector da Granalha

Após a desmoldação das caixas, as peças fundidas, juntamente com as sobras de metal, são lançadas sobre uma mesa vibratória que tem como função separar e orientar os materiais, conduzindo as peças para um tapete metálico transportador, conforme ilustrado na Figura 2.11.



Figura 2.11 - Tapete metálico

O tapete metálico transporta as peças até uma zona onde um operador procede à remoção dos gitos enquanto outro, utilizando um manipulador, coloca as peças fundidas e as respetivas sobras em cestos. Posteriormente, os cestos são encaminhados para a máquina de granalhagem, onde são introduzidos num contentor fechado. No interior deste contentor, as peças são submetidas à projeção de pequenas esferas metálicas, com o objetivo de remover os resíduos de areia agregados à superfície das peças (Figura 2.12).



Figura 2.12 - Cesto com peças por granalhar

Após este processo, verifica-se uma diferença notória na qualidade superficial das peças antes e após o processo de granalhagem. Inicialmente, as peças apresentam uma superfície rugosa, com impurezas visíveis e resíduos de areia aderente (Figura 2.13 a). Contrariamente, após serem submetidas a este procedimento, as peças adquirem uma textura mais uniforme, limpa e com um acabamento visivelmente melhorado, o que contribui significativamente para a eficiência e qualidade das etapas seguintes, como a rebarbação, inspeção e pintura (Figura 2.13 b).



Figura 2.13 - a) Peças antes do processo de granalhagem b) Peças após o processo de granalhagem

2.3.5 Sector da Rebarbação

Após a fase de granalhagem, segue-se a etapa de rebarbação, na qual são removidas as rebarbas e irregularidades superficiais, recorrendo-se a distintos equipamentos, conforme o tipo de peça e o nível de acabamento exigido. Entre os principais recursos utilizados, destacam-se os seguintes:

- Máquinas de rebarbar automáticas (koyama);
- Rebarbadoras;
- Outros equipamentos complementares, ajustados às necessidades específicas de cada componente.

As peças destinadas à pintura a preto são encaminhadas para um sistema de pintura por imersão, no qual são revestidas com uma tinta de base aquosa, conforme ilustrado na Figura 2.14.



Figura 2.14 - Pintura por imersão

Posteriormente, as peças são montadas e embaladas conforme os requisitos de cada encomenda, sendo depois encaminhadas para a zona de expedição, conforme ilustrado nas Figura 2.15 a) e b) respetivamente.



Figura 2.15 - a) Montagem de peças b) Embalamento de peças

As restantes peças são encaminhadas para a zona de armazenagem para posteriormente serem enviadas para a filial da Fucoli-Somepal S.A. com o objetivo

de serem pintadas, montadas ou submetidas a processos adicionais de acabamento, conforme os requisitos específicos da produção.

2.3.6 Setor da maquinação

O processo de maquinação é o que confere à peça a forma, dimensão e o acabamento desejados. Este setor encontra-se equipado com máquinas modernas, alocadas maioritariamente na filial da Fucoli-Somepal S.A. Na sede as máquinas CNC são utilizadas para a maquinação das placas-molde e caixas de macho, assegurando a obtenção de um produto final com elevada qualidade e fiabilidade.

2.3.7 Setor da pintura

Neste setor realiza-se a pintura das peças, predominantemente na cor azul, embora também sejam aplicadas outras cores, conforme a função e especificações de cada componente. O processo consiste na aplicação uniforme de uma camada de tinta sobre toda a superfície exposta da peça, garantindo proteção e acabamento estético adequados.

2.3.8 Setor de montagem

O setor de montagem é responsável pela assemblagem de todos os componentes fundidos de acordo com as especificações técnicas e funcionais de cada produto. Este setor garante que as peças sejam entregues totalmente preparadas para o seu correto funcionamento e aplicação. Entre os principais componentes montados neste setor incluem-se:

- Marcos de incêndio (Figura 2.16);
- Válvulas;
- Ventosas;
- Braçadeiras e juntas;
- Flanges e tubos;
- Acessórios em ferro fundido dúctil.



Figura 2.16 - Marco de incêndio da Fucoli-Somepal [4]

2.3.9 Sector de Armazém

Devido à diversidade de peças produzidas na Fucoli-Somepal S.A., a empresa dispõe de um armazém dedicado ao armazenamento de produtos terminados, onde permanecem até à sua expedição para os respetivos clientes. Adicionalmente, muitas das peças requerem operações de montagem finais, permanecendo temporariamente no armazém até à sua preparação completa.

Este armazém desempenha um papel fulcral na gestão de fluxo de produtos acabados, garantindo a organização, preparação e expedição eficiente das encomendas.

2.3.10 Departamento de manutenção

O departamento de manutenção desempenha um papel fundamental na garantia da disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos contribuindo diretamente para a eficiência operacional da unidade industrial. É responsável por assegurar o bom funcionamento dos equipamentos, prevenindo e corrigindo falhas, com o objetivo de minimizar ao máximo os tempos de paragem através da implementação de estratégias de manutenção preventiva e corretiva.

O estágio foi realizado no Departamento de Manutenção da unidade de Coimbra da Fucoli-Somepal S.A, composto por uma equipa técnica multidisciplinar constituída por: dois engenheiros, dois serralheiros, um técnico de manutenção e dois eletricitistas. A equipa opera em turnos fixos entre as 5h00 da manhã e as 20h, com uma folga rotativa ao longo da semana dado que o trabalho decorre de segunda-feira a sábado. A produção funciona de terça-feira a sábado, encerrando por volta das 18h, o que permite que a equipa técnica que permanece até as 20h realize intervenções que exijam a paragem total dos equipamentos, sem interferir no normal funcionamento da linha produtiva.

O departamento de manutenção recorre ao ManWinWin como software de apoio à gestão da manutenção, facilitando o registo e o controlo de ordens trabalho a realizar, o planeamento de intervenções preventivas, a gestão de ativos físicos e o acompanhamento do histórico de manutenção de cada equipamento. Relativamente à gestão de compras e requisição de materiais é utilizado o RCSoft através do qual são efetuadas as encomendas de peças e consumíveis essenciais, assegurando a continuidade das operações e a disponibilidade dos recursos necessários.

Às segundas-feiras, aproveitando o facto de não existir produção, a equipa dedica-se à realização de manutenção preventiva sistemática de rotina, bem como a intervenções preventivas condicionais ou corretivas, maximizando assim a eficácia das ações sem interferir no processo produtivo.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Gestão de Ativos

3.1.1 Enquadramento

A gestão de ativos começou a ser padronizada em todo o mundo através da norma PAS 55 publicada em 2004, que permitiu o estabelecimento de uma linguagem comum e de padrões de gestão de ativos. A PAS 55 foi das primeiras normas específicas de gestão de ativos físicos e ainda hoje é reconhecida como uma principal referência na área, definindo gestão de ativos como: "...systematic and coordinated activities and practices through which an organization optimally and sustainably manages its assets and asset systems, their associated performance, risks and expenditures over their life cycles for the purpose of achieving its organizational strategic plan" [5]. A principal preocupação da PAS 55 prende-se com a descrição do que deve ser feito e não como deve ser feito [6].

A gestão de ativos tornou-se cada vez mais relevante no contexto organizacional principalmente devido à crescente competitividade entre as empresas. Este cenário intensificou a necessidade de otimizar o desempenho, reduzir custos e gerir riscos associados aos ativos de forma eficaz. Embora a PAS 55 tenha sido uma referência pioneira na área, ao longo dos anos revelou-se que tinha limitações significativas [7]. Isso motivou o desenvolvimento de um conjunto de normas mais abrangente e flexível, capaz de englobar todos os ativos, incluindo os físicos, e proporcionar uma abordagem de gestão mais estratégica e meticulosa.

Esse novo conjunto de normas foi formalizado pela ISO com a publicação da família das normas ISO 5500X em 2014. Estas normas marcaram um avanço significativo na gestão de ativos que revolucionou a visão do conceito que era compreendido anteriormente [8][9]. Estabeleceram também um padrão internacional que oferece diretrizes estratégicas e operacionais para maximizar o valor dos ativos ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Passados 10 anos, em 2024, a família das normas ISO 5500X foi revista e atualizada para refletir as mudanças nas melhores práticas e nas necessidades das organizações. Esta atualização teve como objetivo garantir que as diretrizes permaneçam relevantes e alinhadas com os desafios atuais, como a digitalização, a sustentabilidade, os ativos intangíveis e a tomada de decisão.

3.1.2 Família ISO 5500X

Ao adotar a ISO 55000, as organizações adquirem as práticas necessárias para otimizar a utilização dos ativos, melhorar o desempenho financeiro e garantir a sustentabilidade e uma boa gestão de riscos.

A família ISO 5500X contou com atualização de três normas desde 2014 que se encontram agora em vigor:

1. ISO 55000:2024 (Asset management - Vocabulary, overview and principles)

A ISO 55000:2024 [10] foca-se na gestão de ativos e na crescente necessidade de uma abordagem sistemática para a gestão de ativos dentro das organizações, que se torna cada vez mais crucial no contexto atual de infraestrutura intensiva. Esta norma oferece uma visão geral, terminologia e princípios essenciais para a implementação de um sistema de gestão de ativos proativo. Estabelece também a estrutura necessária para que as organizações realizem uma gestão eficaz e resiliente dos seus ativos ao longo de todo o seu ciclo de vida, maximizando o valor obtido, o que contribui diretamente para aumentar a eficiência global e alcançar os objetivos da empresa [10]

2. ISO 55001:2024 (Asset management – Asset management system requirements)

A ISO 55001:2024 [11] define os requisitos para implementar um sistema de gestão de ativos eficiente e que possa ser aplicável em qualquer organização. Para que este sistema funcione, precisam de ser alinhadas decisões conforme os objetivos estratégicos pretendidos. Este sistema de gestão de ativos permite a melhoria contínua e o monitoramento holístico do desempenho dos ativos.

3. ISO 55002:2024 (Asset management – Management systems – Guidelines for the application of ISO 55001)

A ISO 55002 [12] é um guia que complementa a ISO 55001, ao fornecer diretrizes para a aplicação prática de um sistema de gestão de ativos estabelecidos pela ISO 55001. Explica como implementar, manter e melhorar esse sistema de forma eficaz, adaptando às necessidades e ao contexto da organização. Enquanto a ISO 55001 define o que deve ser feito para estabelecer um sistema de gestão de ativos, a ISO 55002 orienta como fazer isso na prática.

Para além da atualização de normas, ainda foram criadas normas para fornecer mais orientações para a gestão de ativos.

4. ISO/TS 55010:2024 (Asset management- Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management)

A ISO 55010:2024 [13] é uma especificação técnica que orienta o alinhamento entre funções financeiras e não financeiras na gestão de ativos. Esta coordenação apoia decisões estratégicas e maximiza o valor dos ativos ao longo do seu ciclo de vida. Esta norma complementa a ISO 55001:2024 promovendo a ligação entre contabilidade, logística, planeamento financeiro manutenção e engenharia.

5. ISO/FDIS 55011:2024 (Asset management – Guidance for the development of public policy to enable asset management)

A ISO 55011 [14] oferece orientações para promover a implementação da gestão de ativos através de políticas públicas, focadas especificamente no envolvimento de participantes no contexto externo das organizações responsáveis por esses ativos. A norma promove a colaboração entre diversas partes interessadas para assegurar que a gestão de ativos seja eficaz e esteja alinhada com as políticas públicas e o ambiente externo onde essas organizações operam.

6. ISO/FDIS 55012:2024 (Asset management – Guidance on people involvement and competence)

A ISO 55012 [15] apresenta orientações para o envolvimento e desenvolvimento das pessoas no âmbito de um sistema de gestão de ativos. A norma reconhece que o sucesso e desempenho do sistema de gestão de ativos está diretamente relacionado com o compromisso, conhecimento e participação de todos os colaboradores. Nesse contexto, destaca a importância de avaliar e desenvolver o grau de envolvimento das pessoas para assegurar resultados consistentes e alinhados com a estratégia da empresa.

7. ISO/FDIS 55013:2024 (Asset management – Asset management – Guidance on the management of data assets)

A ISO 55013 [16] apresenta orientações sobre a gestão de dados aplicada à gestão de ativos, e reconhece que os dados são elementos considerados ativos não físicos com valor próprio, essenciais para garantir decisões eficazes. Esta norma complementa os princípios da ISO 55000 e os requisitos da ISO 55001, já que ajuda as organizações a fazer uma gestão de dados mais estratégica.

3.2 Manutenção

O termo manutenção tem a sua origem no vocabulário militar referindo-se à necessidade de “(...) manter, nas unidades de combate, os efetivos e o material num nível constante.”[17]. François Monchy [17] define manutenção como o conjunto de atividades destinadas a conservar ou restabelecer um bem em condições de cumprir a sua função.

Farinha [18], [19] define manutenção como “(...)a combination of management, technical and economic actions applied to assets to optimize their life cycles.”.

De acordo com a NP EN 13306:2021, a manutenção é “(...) o conjunto de ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um equipamento, produto ou serviço, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa desempenhar a função desejada”[20].

3.2.1 Evolução histórica da manutenção

Atualmente a manutenção desempenha um papel fundamental na garantia da disponibilidade, eficiência e desempenho dos ativos, mas esta abordagem não foi sempre a mesma ao longo do tempo. A evolução da manutenção reflete as mudanças e avanços que as diversas indústrias tiveram, o que consequentemente aumentou a complexidade dos sistemas produtivos.

Este capítulo apresenta as principais etapas da evolução do conceito de manutenção, desde as abordagens reativas iniciais - centradas unicamente na reparação após a ocorrência de falhas - até às estratégias modernas, que visam antecipar avarias por meio da análise de dados e planejar as intervenções de forma mais estruturada e eficiente (Figura 3.1).

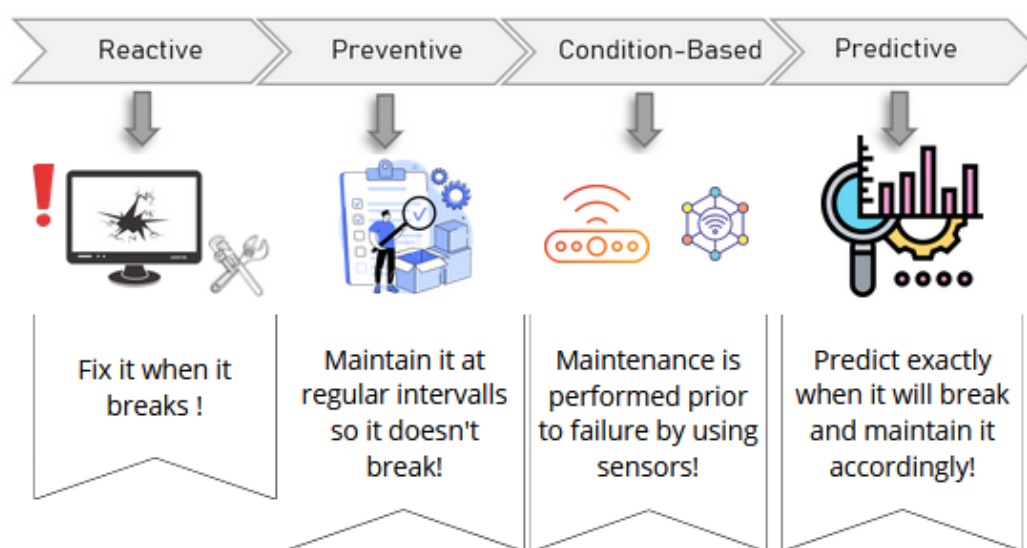


Figura 3.1 - Evolução da manutenção [21]

Até a década de 1950, as empresas encaravam a manutenção como uma área com pouco proveito, associada a custos desnecessários. A intervenção limitava-se, na maioria das vezes, à reparação dos equipamentos apenas após a ocorrência de falhas, sem qualquer planejamento ou estratégia, restabelecendo-se o funcionamento operacional do equipamento - procedimento conhecido como "Run-To-Failure" ou manutenção corretiva [22]. A utilização desta abordagem pode resultar em problemas operacionais graves, comprometendo a disponibilidade dos equipamentos por longos períodos, e também causar dificuldades na gestão e na produção.

A mecanização associada à Primeira Revolução Industrial conferiu à manutenção um papel de maior relevância, uma vez que a indústria se tornava progressivamente mais complexa e digitalizada, passando a produzir uma maior diversidade de produtos em quantidades crescentes. Além disso, a substituição da produção manual pela produção mecanizada impulsionou uma significativa evolução nos processos de manutenção, evidenciando a necessidade de reparações regulares e sistemáticas nos

equipamentos, responsabilidade que, nesta fase, recaía frequentemente sobre os próprios operadores.

Só a partir da 1ª Guerra Mundial, a indústria foi pressionada para alcançar padrões mínimos de produção, o que levou à formação de equipas especializadas que se limitavam à manutenção corretiva [19]. Pelo facto da indústria nessa altura não ser altamente mecanizada, os períodos de inatividade não eram uma preocupação, isso significava que não havia prioridade nem sequer tentativa de realizar tarefas de prevenção de falhas nos equipamentos por parte dos gestores ou dos operadores.

Desta forma, tarefas de manutenção regulares, como limpeza ou lubrificação, não eram prioritárias. Além disso, a maioria dos equipamentos eram simples e, em muitos casos, sobredimensionados, o que os tornava mais robustos, confiáveis e de fácil reparação. Por se tratar de equipamentos menos complexos, a exigência de competências técnicas especializadas era significativamente inferior à que se verifica atualmente [23].

3.2.2 Tipos de Manutenção

O capítulo anterior fundamenta a evolução do conceito de manutenção, e constata que as práticas de gestão de manutenção de equipamentos mudaram de forma significativa para atender às necessidades crescentes de eficiência, confiabilidade e competitividade das empresas. Este próximo capítulo apresenta os diversos tipos de manutenção que são referidos atualmente pela NP EN 13306:2021, como se demonstra na Figura 3.2.

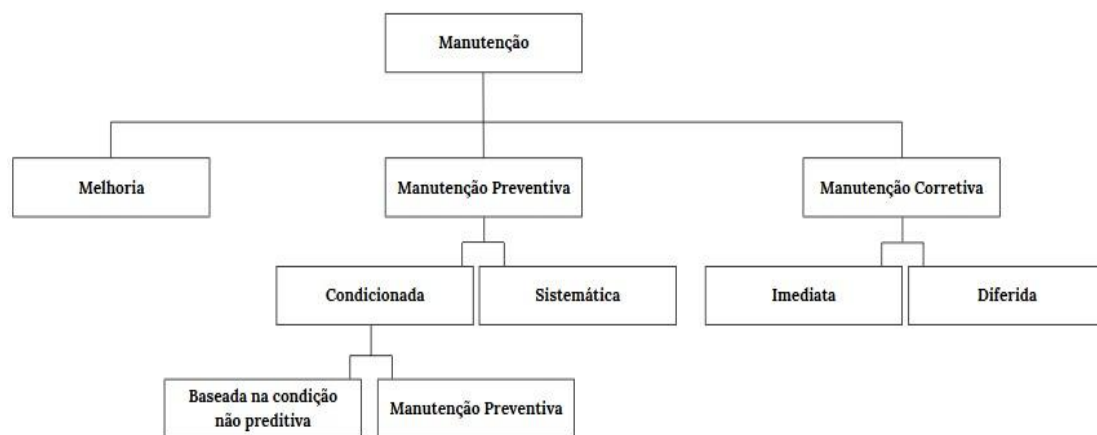


Figura 3.2 - Tipos de manutenção [20]

3.2.2.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é um tipo de manutenção não planeada. De acordo com a norma NP EN 13306:2021 [20], a manutenção corretiva, efetuada depois da deteção de uma avaria, destina-se a repor um ativo ao estado que lhe permita realizar a função requerida. Existem dois tipos:

- Manutenção corretiva diferida: execução não imediata, feita apenas com as regras de manutenção pré-determinadas;
- Manutenção corretiva imediata: execução imediatamente após a falha, de modo a minimizar o impacto.

Existem alguns casos específicos em que faz sentido optar unicamente por este tipo de manutenção [23], nomeadamente quando:

- Não é possível encontrar nenhuma manutenção preventiva capaz de favorecer o equipamento, independentemente de quantos recursos se gastem;
- A manutenção preventiva disponível a fazer é demasiado dispendiosa, e compensa mais reparar após a avaria;
- A falha do equipamento não é prioritária ao ponto de alocar recursos para realizar manutenção preventiva.

A manutenção corretiva está frequentemente associada a custos elevados decorrentes da sua natureza imprevisível, o que obriga as empresas a manter stocks consideráveis de peças de reposição. A ausência de planeamento para lidar com falhas torna as organizações vulneráveis às incertezas das avarias, resultando, quando estas ocorrem, em despesas adicionais com horas extraordinárias dos colaboradores e perdas financeiras associadas à paralisação dos equipamentos. Por outro lado, uma das poucas vantagens desta abordagem é permitir explorar ao máximo a vida útil dos ativos, independentemente do seu estado de conservação [24].

3.2.2.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva, segundo a Norma NP EN 13306:2021 [20], é efetuada com o objetivo de avaliar e/ou mitigar a degradação dos equipamentos, atuando de forma antecipada para evitar falhas. Tal abordagem reduz a probabilidade de ocorrência de falhas e eleva os níveis de confiabilidade operacional dos equipamentos. Mobley [25] afirma que a manutenção preventiva é um investimento a longo prazo, que garante um futuro sem longos períodos de inatividade dos equipamentos críticos.

Este tipo de manutenção divide-se em [25]:

- Manutenção preventiva sistemática: A manutenção é realizada a intervalos de tempo preestabelecidos ou segundo um número definido de unidades de utilização, sem verificar previamente o estado do ativo;
- Manutenção preventiva condicionada: A manutenção é baseada na monitorização do equipamento e/ou dos parâmetros desse funcionamento.

Gulati e Smith (2013) atribuem os seguintes objetivos à manutenção preventiva [26]:

- Manter os ativos em condições de funcionamento, garantindo a disponibilidade dos ativos;

- Realizar testes, medições, ajustes e substituição de peças e componentes de modo a evitar a ocorrência de falhas;
- Registos e análises de dados da condição dos ativos que podem originar ações de manutenção corretiva.

Na Tabela 3-1 evidenciam-se as principais vantagens e desvantagens da manutenção preventiva [27][28].

Tabela 3-1 - Principais vantagens e desvantagens da manutenção preventiva

Manutenção Preventiva	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• As operações e paragens são programadas de acordo com a produção• Controlo mais eficaz de peças suplentes e do stock de peças• Aumento da disponibilidade dos equipamentos• Maior controlo dos custos de manutenção• Redução dos custos de manutenção corretiva• Redução do número de avarias• Aumento da vida útil dos equipamentos	<ul style="list-style-type: none">• O aumento do número de operações pode provocar o risco de introdução de novas avarias, natureza invasiva da manutenção• Aumento do custo devido à mão de obra e peças de substituição• Existe um estudo prévio e um planeamento da manutenção• Não garante que a manutenção corretiva seja totalmente desnecessária

3.2.2.3 *Manutenção Preditiva*

A manutenção preditiva monitoriza continuamente variáveis relevantes para verificar o estado do ativo, que em conjunto com modelos de machine learning e inteligência artificial permitem antecipar a ocorrência de avarias [29][30].

Algumas das tecnologias mais relevantes associadas a esta monitorização de condição são [9][24][31]:

- Medição e análise de vibrações;
- Medição e análise de tensão e corrente de máquinas elétricas;
- Análise de ultrassons;
- Análise de óleos;
- Termografia.

3.2.2.4 *Manutenção de melhoria*

Segundo a norma NP EN 13306:2021[20], a manutenção de melhoria é “a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, com o objetivo

de melhorar a fiabilidade intrínseca e/ou manutibilidade e/ou segurança de um bem, sem alterar a sua função original”. Trata-se de uma abordagem utilizada pelas empresas e organizações para evitar falhas ou falta de segurança durante a operação do equipamento, ou melhorar o desempenho de alguma função do equipamento [32].

3.3 Níveis de Manutenção

A lógica de manutenção considera 5 níveis distintos, caracterizados não apenas pelas tarefas que se executam aos equipamentos, mas também pela complexidade das ações de manutenção a realizar nos equipamentos, e dos meios disponíveis para que seja possível realizar a manutenção (Tabela 3-2). Cada um desses níveis possui importância, sendo acionado o próximo quando as ações do nível anterior falham ou exigem intervenções mais complexas. No 1º nível o operador realiza pequenas afinações sem desmontagem e substitui elementos acessíveis. No 2º nível o técnico ou o operador substitui elementos standard e realiza pequenas operações preventivas. No 3º nível o técnico ou uma equipa técnica procede ao diagnóstico de avarias com a posterior substituição ou reparação de componentes. No 4º nível o técnico especializado no respetivo domínio assegura a manutenção e envolve equipamento especializado. No 5º nível correspondem a reparações extensas e exigentes realizadas por técnicos especializados e com recurso a equipamentos industriais.

Tabela 3-2 - Níveis de manutenção [33]

Nível	Ações	Realização
Nível I	Ações simples necessárias para a operação e efetuadas em componentes facilmente acessíveis de forma segura.	Operador
Nível II	Ações que requerem procedimentos simples e/ou ferramentas auxiliares. Manutenção preventiva ou corretiva.	Operador ou técnico
Nível III	Operações que requerem procedimentos complexos e/ou equipamentos de suporte portáteis, que requerem uma operação complexa previstos nas instruções de manutenção. Manutenção preventiva ou corretiva.	Técnico
Nível IV	Operações cujos procedimentos envolvem o domínio de uma técnica ou tecnologia específica e/ou o uso de equipamento de suporte especializado. Manutenção preventiva, corretiva ou preditiva.	Técnico especializado
Nível V	Operações cujos procedimentos envolvem know-how, utilizando técnicas ou tecnologias específicas, processos e/ou equipamentos de suporte industrial.	Técnico especializado ou fabricantes

3.4 Gestão da Manutenção

A gestão da manutenção, de acordo com a NP EN 13306:2021 [20], “são todas as atividades de gestão que determinam os requisitos de manutenção, objetivos,

estratégias e responsabilidades e a implementação destas por diversos meios tais como o planeamento, o controlo e a melhoria das atividades de manutenção e aspetos económicos”. Esta gestão leva a que sejam necessárias estratégias de manutenção para atingir os objetivos identificados NP EN 13306:2021.

Na perspetiva da gestão de um sistema produtivo, a manutenção é tão importante como a produção para garantir a qualidade. A manutenção assume um papel importante na disponibilidade e segurança do sistema, bem como na qualidade da produção. A produção preocupa-se com a sinergia entre a capacidade dos equipamentos e a entrega dos produtos [34].

Segundo a Norma NP 4483:2009 [35] “a direção de manutenção deve definir uma estratégia de manutenção e estabelecer, documentar, implementar e manter um sistema de gestão da manutenção e melhorar continuamente a sua eficácia”. Para isso, a organização deve:

- Estabelecer os processos necessários para o sistema de gestão da manutenção e a sua aplicação ao longo da organização;
- Estabelecer os critérios e métodos necessários para assegurar que tanto a execução como o controlo destes processos são eficazes;
- Assegurar a disponibilidade dos recursos e informação necessários à realização das atividades de manutenção, bem como à sua supervisão;
- Supervisionar, medir e analisar os processos;
- Implementar melhorias para obter os resultados planeados e permitir a melhoria contínua dos mesmos.

Um fator decisivo para a evolução da manutenção foi a evolução tecnológica, principalmente dos softwares de manutenção, que permitem reunir facilmente uma grande quantidade de informação de forma fácil, organizada e fornecer informações sobre o desempenho geral dos equipamentos e o respetivo histórico [23].

A manutenção industrial e a sua gestão evoluíram com a digitalização e a indústria 4.0, deixando de ser uma função reativa centrada na reparação de falhas, para assumir um papel estratégico que acrescenta valor e competitividade às empresas. Neste contexto a tecnologia assume um papel central, apoiando decisões mais precisas e eficientes. Esta abordagem assenta em quatro aspetos fundamentais:

I. Decisão baseada em dados

A dimensão da decisão baseada em dados assenta no uso de sensores, sistemas de monitorização e algoritmos de machine learning para converter grandes volumes de informação em ferramenta de auxílio para decisões de manutenção mais precisas e oportunas. Esta abordagem permite antecipar falhas, evitar intervenções desnecessárias e aumentar a fiabilidade dos equipamentos. Contudo, levanta desafios relacionados com a confiança nos modelos e a necessidade de transparência, uma vez que muitos algoritmos funcionam enquanto um mistério para os seus

utilizadores. A sua adoção requer não só tecnologia avançada, mas também mecanismos que garantam a interpretabilidade e credibilidade às decisões automatizadas [36].

II. Gestão de competências de recursos humanos

As pessoas desempenham um papel fundamental na manutenção inteligente, uma vez que a tecnologia só gera valor quando apoiada por competências adequadas. A adoção de sistemas digitais exige profissionais capazes de interpretar dados, utilizar ferramentas analíticas e combinar conhecimento técnico com competências digitais. Dessa forma é essencial investir em formação contínua e promover uma cultura aberta à inovação, caso contrário as empresas arriscam não aproveitar totalmente as tecnologias digitais e ficar dependentes de sistemas que não compreendem [37].

III. Sinergia operacional

A sinergia operacional refere-se à coordenação entre a manutenção e os restantes departamentos da fábrica, como produção, logística e qualidade. Esta abordagem visa alinhar a manutenção com os objetivos globais da organização, transformando-a de um departamento isolado num elemento estratégico da cadeia de valor. A integração da manutenção facilita fluxos de informação, reduz os tempos de resposta, e ainda promove práticas preventivas aos colaboradores. Além disso, permite que a manutenção seja reconhecida como parte integrante da estratégia de produção, contribuindo para uma maior produtividade, redução de custos e aumento da competitividade no mercado [38].

IV. Cooperação entre parceiros

A integração externa envolve a colaboração com fornecedores, prestadores de serviço e parceiros através de plataformas digitais e redes interorganizacionais, permitindo consolidar dados de múltiplos equipamentos e unidades, e promovendo conhecimento coletivo e soluções mais eficazes para desafios comuns. A partilha de informação e a cooperação digital podem gerar benefícios significativos, como diagnósticos mais rápidos e decisões mais precisas, mas também apresentam riscos relacionados como a proteção de dados [39].

3.5 Manutenção Lean

3.5.1 Filosofia Lean

A filosofia Lean tem origem no Toyota Production System (TPS), desenvolvidas nos anos de 1950-1970 por Taiichi Ohno, e consiste sobretudo num conjunto de práticas orientadas no sentido de maximizar o valor do produto, recorrendo à minimização sistemática de desperdícios ao longo do processo produtivo [40]. Baseia-se fundamentalmente na eliminação contínua de desperdícios e na melhoria de processos, com o objetivo de simplificar fluxos de trabalho e promover ações mais eficientes e orientadas para o valor.

Os princípios Lean assentam na definição do valor do produto conforme o pedido do cliente, no alinhamento do fluxo de produção, em que só se começa a produzir quando há procura real. Distinguem-se atividades que acrescentam valor e atividades que não acrescentam valor, sendo as últimas as responsáveis por perdas que reduzem a eficiência e competitividade da organização. Os princípios fundamentais da filosofia Lean incluem [40]:

- Definir valor do ponto de vista do cliente;
- Criar um fluxo de trabalho simplificado;
- Produzir por encomenda;
- Envolver e motivar os colaboradores para impulsionar a melhoria contínua.

Entre os pilares mais importantes da filosofia Lean destaca-se o Jidoka, conceito entendido como “automação com inteligência”. Este princípio estabelece que sempre que surge uma anomalia, o processo deve parar imediatamente para evitar a produção de defeitos, e permitir identificar e corrigir a causa do problema na origem, de forma rápida e eficiente [41].

De acordo com [40] os principais tipos de desperdício associados a atividades que não acrescentam valor incluem:

- Transporte desnecessário;
- Excesso de inventário;
- Atividades que não acrescentam valor ao produto pelo que o cliente pretende;
- Tempos de espera;
- Excesso de produção;
- Defeitos e retrabalho;
- Movimentação desnecessária;
- Capacidades dos colaboradores que não são aproveitadas.

Estes desperdícios representam um obstáculo direto às atividades que realmente geram valor, pelo que a sua eliminação constitui uma prioridade na filosofia Lean. Para tal recorrem-se a diversas ferramentas e elementos característicos da metodologia, tais como o 5S, o Kanban, o Andon, entre outros.

3.5.2 Ferramentas de apoio à Manutenção Lean

O Lean é uma metodologia que tem como objetivo maximizar a eficiência dos recursos nos processos produtivos, através da utilização de ferramentas de gestão visual como o kanban e o Andon, e ferramentas de melhoria como o 5s utilizadas para organizar e manter um ambiente de trabalho eficiente e limpo [42].

3.5.2.1 Gestão Visual

A gestão visual tem como propósito o aumento da eficiência da comunicação e capacidade de reação dentro de uma empresa [9]. A utilização da ferramenta Andon é um sistema visual que rapidamente alerta a ocorrência de uma avaria, cumprindo eximamente o seu objetivo. O sistema kanban é outra ferramenta de gestão visual que auxilia na identificação da peça de reserva e na gestão de stocks.

Além disso, a gestão visual, amplamente utilizada no contexto do Lean, consiste na aplicação de recursos visuais mais atrativos e intuitivos do que a informação puramente textual com o objetivo de simplificar operações e processos para operadores, gestores e técnicos. Essa abordagem permite que, mesmo profissionais com reduzida experiência, possam desempenhar as suas funções de forma eficaz, contando com o apoio das ferramentas de gestão visual [43].

3.5.2.2 Andon

O Andon é um sistema de supervisão e gestão visual que recorre a sinais luminosos e/ou sonoros para indicar o estado da produção, promovendo uma comunicação rápida e eficiente no ambiente industrial [44]. Deste modo a utilização do Andon suporta um princípio Lean, o Jidoka [45], já que permite que o operador pare a produção imediatamente após detetar alguma anormalidade na máquina ou no produto [46].

A título de exemplo, este sistema foi implementado em todas as máquinas das Fucoli-Somepal, possibilitando a deteção célere de eventuais problemas pelos técnicos de manutenção e responsáveis de secção. Essa capacidade de identificação imediata permite a adoção de intervenções corretivas de forma mais ágil, minimizando tempos de paragem e assegurando a continuidade operacional. A Figura 3.3 apresenta um exemplo prático da implementação do sistema Andon na empresa.



Figura 3.3 - Sinalização visual de avaria

O avanço das tecnologias possibilita que atualmente toda a equipa da manutenção receba mensagens de avarias e atualizações sobre a situação das máquinas diretamente nos telemóveis ou smartwatches em tempo real, como se mostra na Figura 3.4, independentemente da distância do operador à máquina [47].

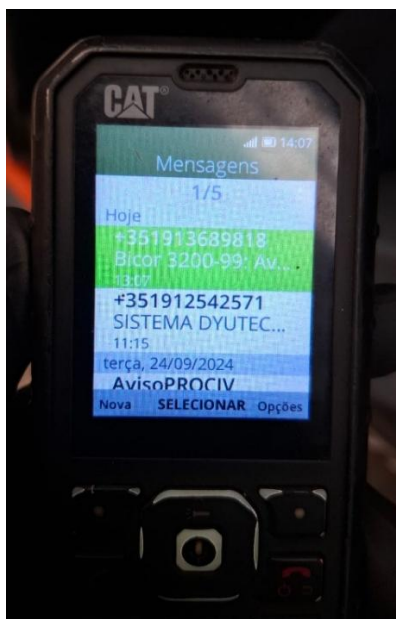


Figura 3.4 - Notificação de avarias enviada para a equipa de manutenção

3.5.2.3 Kanban

O sistema Kanban, que em japonês significa cartão ou sinal, é uma ferramenta Lean utilizada na gestão visual para a gestão de produção por encomenda [48] e no controlo de inventário, desenvolvido em 1940 por Taiichi Ohno dentro do Sistema Toyota de Produção no Japão.

Este sistema auxilia na gestão de fluxo de materiais entre etapas de produção e é utilizado em operações internas e externas nomeadamente no controlo de produção e de inventário, em tarefas como planeamento de produção, tempo de entrega, requisitos e informações detalhadas sobre o produto e informações de stock [49][50].

Atualmente, este sistema continua a desempenhar um papel essencial nas empresas, tendo o seu conceito inspirado no método de abastecimento utilizado nos supermercados, onde o reabastecimento só ocorre após a venda dos produtos. De forma análoga, na metodologia Kanban, a reposição de peças em stock é solicitada apenas à medida que estas são efetivamente consumidas, evitando excessos e otimizando a gestão de inventário [50].

É importante que haja um fluxo de produção otimizado para garantir que as peças estejam prontas a tempo, com a devida qualidade. Nesse contexto, o sistema kanban ajuda no planeamento visual que ajuda as equipas a gerir e otimizar os seus fluxos de trabalho, permitindo que a produção seja orientada do cliente (jusante) para as etapas iniciais do fabrico (montante). Isto significa que são as encomendas dos

clientes que desencadeiam o fabrico de peças através do envio de cartões kanban da linha de montagem para a linha de maquinação.

O sistema Kanban constitui assim uma ferramenta estratégica de gestão visual que promove a melhoria contínua, ao possibilitar que as equipas analisem e planeiem de forma sistemática os seus fluxos de trabalho. Através da sua utilização, torna-se mais simples identificar obstáculos ao processo produtivo, detetar fragilidades operacionais e monitorizar o desempenho das diferentes etapas. Além disso, o Kanban facilita a priorização de tarefas e a alocação eficiente de recursos, permitindo que as equipas não só resolvam problemas existentes, mas também antecipem potenciais estrangimentos, impulsionando a produtividade, a flexibilidade e a qualidade global do processo [51].

3.5.2.4 5s

Atualmente devido aos avanços tecnológicos, a sobrevivência de qualquer organização depende da capacidade de ser competitiva e inovadora nos seus produtos e serviços. Esse aprimoramento geralmente é alcançado através da adoção de práticas eficientes, que visam atingir metas específicas. Com o aumento da concorrência global, os gestores enfrentam dois desafios principais: primeiro, precisam de tomar decisões eficazes e escolher métodos adequados, além disso, a falta de conhecimento sobre métodos eficazes promotores do desempenho organizacional representa um dos maiores obstáculos enfrentados. Além disso, é fundamental avaliar e reconhecer a qualidade do desempenho, uma vez que, essa análise auxilia os gestores na identificação de áreas que necessitam de melhorias. Deste modo, o método 5s é uma abordagem eficaz para melhorar o desempenho e organizar sistemas, tendo sido amplamente utilizado pela primeira vez no Japão [52].

O conceito 5S nasceu no Japão e tem como objetivo principal criar um ambiente de trabalho organizado, aumentando a segurança e a eficiência, e reduzindo a incidência de defeitos nos produtos. Baseia-se em cinco palavras japonesas que refletem os princípios de limpeza e ordem, incentivando a sua aplicação como parte da disciplina no local de trabalho empresarial. Essas cinco palavras são as seguintes [53]:

- Seiri (Classificar);
- Seiton (Colocar em ordem/endireitar);
- Seiso (Brilho/Varredura);
- Seiketsu (Padronizar);
- Shitsuke (Sustentar/auto-disciplina).

Seiri (Separar)

A separação de materiais necessários e desnecessários é conhecida como “sort”. Esse processo organiza cada item no ambiente de trabalho no local adequado [54]. Segundo Saricoban [55] materiais e equipamentos defeituosos ou pouco utilizados podem prejudicar a ordem no local de trabalho e reduzir a eficiência operacional, de

modo que, é essencial identificar e classificar adequadamente os materiais presentes no espaço de trabalho. Para melhorar a disponibilidade de equipamentos e ferramentas, estudos de Celebi [56] e Kocaalam [57] evidenciam que, estações de trabalho como máquinas, ferramentas manuais, materiais e outros itens devem ser organizados de forma sistemática, em locais de fácil acesso.

Quando esse princípio é implementado de forma eficaz, problemas e reclamações no fluxo de trabalho tendem a diminuir, e a comunicação entre os colaboradores torna-se mais fácil. Além disso, a otimização do espaço de trabalho gera economias significativas, resultando em uma redução expressiva nos custos operacionais [55].

Seiton (Organizar)

De forma a cumprir este objetivo, é estabelecida uma organização que permite o fácil acesso aos materiais necessários no momento certo, garantindo que sejam devolvidos aos seus devidos lugares após o seu uso [53]. Fruto da organização realizada nas estações de trabalho, a nível de máquinas, ferramentas, instrumentos manuais e materiais, estes devem estar posicionados em locais de fácil acesso sempre que forem necessários [57]. Celebi [56] estabelece alguns pontos a serem controlados durante a organização, tais como:

1. Otimização das áreas de armazenamento: é recomendável maximizar o uso do espaço disponível. Por exemplo, o uso de prateleiras ajustadas à altura dos materiais classificados e de gavetas no lugar de armários ou caixas grandes pode aumentar a eficiência no armazenamento;
2. Princípio “primeiro a entrar, primeiro a sair”: sempre que aplicável, deve-se evitar que os estoques sejam organizados de forma muito profunda, dificultando o acesso;
3. Identificação dos itens e áreas de armazenamento: tanto as áreas de estoque, prateleiras e gavetas quanto os materiais armazenados devem ser devidamente etiquetados;
4. Ajustes para diferentes dimensões de produtos: quando as características ou dimensões dos produtos mudarem, é possível utilizar equipamentos específicos para adaptar as máquinas às novas necessidades.

Seiso (Limpeza)

Manter um ambiente limpo e organizado é essencial para a eficácia no trabalho e na vida, uma vez que, a poeira e os resíduos são uma das causas da desordem, ineficiência e acidentes [53]. A limpeza pode ser abordada em duas etapas: a geral, que envolve o espaço de trabalho e fontes de sujidade, e a detalhada, focada em máquinas, ferragens e ferramentas [56]. Assim, segundo Karabulut [58] a limpeza detalhada traz diversas vantagens, como por exemplo:

1. A sujidade e poeira provocam a corrosão e demolição precoce da máquina e dos seus componentes. Portanto, fontes de sujidade e poeira são removidas;

2. Ao adaptar o local de trabalho às condições ideais, a disposição dos colaboradores melhora significativamente;
3. Os casos anormais (como por exemplo, vazamento de óleos e desperdícios) são reconhecidos imediatamente;
4. Ao fornecer um ambiente de trabalho mais seguro, o perigo diminui. Para uma limpeza eficaz, é essencial definir responsáveis por cada área e registrar os seus nomes em locais apropriados, devendo a limpeza ser rápida e realizada em horários estratégicos (início ou fim do turno) por toda a equipa.

Seiketsu (Padronizar)

Após a implementação dos primeiros 3S, devem ser elaborados sistemas que garantam a continuidade dessas práticas no local de trabalho. Neste sentido, as atividades devem ser documentadas de acordo com os procedimentos estabelecidos, de forma a assegurar que os colaboradores os memorizem e que as regras sejam eficazes, devendo ainda ser desenvolvido um controlo visual com vista a identificar problemas que possam de alguma forma comprometer a limpeza e a organização.

Além disso é crucial utilizar rótulos de monitorização de desempenho, listas de controlo, tabelas e outros procedimentos visuais no quadro TPM, que terá como objetivo o supervisionamento e a garantia da execução adequada das atividades. Após o controlo visual, as seguintes atividades são realizadas em padronização [57] [56]:

1. Alocação do local de trabalho em termos de área ou regiões baseadas em máquinas;
2. Determinação de representantes para cada região;
3. Identificação de pontos que precisam ser controlados em cada região (formação de listas de ordem de limpeza);
4. Remoção de negatividades reconhecidas como resultado de controlos.

Para uma aplicação e desenvolvimento eficaz dos padrões, torna-se necessária a participação de toda a equipa, na medida em que, a padronização consiste exatamente na transformação de atitudes e comportamentos corretos hábitos diários, garantindo a sua aplicação completa para resolver as irregularidades nos três primeiros princípios básicos.

Shitsuke (Auto-disciplina)

A última etapa da metodologia 5s tem como objetivo a melhoria dos métodos direcionados à adaptação do 5s como um hábito entre toda a equipa, ficando esta etapa a cargo dos diretores, sendo que estes devem explicar a importância do 5s recorrendo a vários treinos e o conhecimento sobre o programa deve ser mantido através da utilização dos quadros 5S a serem formados no local de trabalho. Por meio de várias campanhas com fácil participação, a disseminação do 5S deve ser

direcionada [56]. Os objetivos desses estudos podem ser resumidos da seguinte forma [58]:

1. Formação de uma empresa disciplinada;
2. Remoção de pequenas falhas através do auxílio da limpeza;
3. Proporcionar a execução do controlo visual;
4. Conceder a responsabilidade da máquina ao trabalhador;
5. Proporcionar a execução de atividades de proteção;
6. Conceder a responsabilidade do local de trabalho ao pessoal.

4 TRABALHOS DESENVOLVIDOS DURANTE O ESTÁGIO

Neste capítulo descrevem-se os trabalhos desenvolvidos durante o estágio no departamento de manutenção. Para além do apoio às tarefas diárias da equipa, as atividades realizadas permitiram analisar de forma crítica a eficiência da linha de produção e compreender a relevância da manutenção para a continuidade operacional da empresa. O acompanhamento próximo dos técnicos revelou-se particularmente enriquecedor, uma vez que possibilitou identificar, em contexto real, fragilidades e limitações que não seriam facilmente perceptíveis apenas pela observação. A participação nas manutenções preventivas semanais, realizadas às segundas-feiras com paragem de produção, proporcionou igualmente uma oportunidade de contato direto com intervenções mais estruturadas, desde calibrações a ajustes e reparações, permitindo não só desenvolver competências técnicas, mas também refletir sobre a importância do planeamento e da sistematização das atividades de manutenção para minimizar paragens imprevistas e otimizar os recursos disponíveis.

4.1 Sistema de Informação de apoio à gestão de manutenção com o ManWinWin

O ManWinWin é o software de gestão de manutenção utilizado pela Fucoli-Somepal, tendo sido implementado pelo departamento de manutenção em 2011. Foi adotado com o objetivo de melhorar a eficiência das operações de manutenção através de um controlo mais rigoroso e estruturado das atividades realizadas.

Durante o período de estágio foi possível conhecer, explorar e participar ativamente na utilização do software de gestão de manutenção ManWinWin, uma ferramenta que se revela indispensável para o controlo e organização das operações relacionadas com a manutenção, contribuindo significativamente para a otimização da gestão dos ativos da empresa.

A principal responsabilidade atribuída consistiu na gestão e registo de ordens de trabalho dos técnicos de manutenção que, devido à elevada carga de trabalho no chão de fábrica, não dispunham de tempo para manter os registos atualizados no software. Esta colaboração tinha como objetivo garantir o cumprimento de um requisito interno da empresa - cada técnico deve ter registadas 8 horas diárias em ordens de trabalho. Caso esse registo não fosse cumprido podiam surgir repercussões negativas para os técnicos.

Qualquer atividade de manutenção deve estar associada a uma ordem de trabalho na qual são registadas de forma detalhada todas as informações relevantes sobre a intervenção realizada. No preenchimento dessa ordem de trabalho existe uma secção própria para designar os materiais utilizados, através da colocação do código existente no cartão kanban, com as respetivas quantidades (Figura 4.3).

No entanto, importa referir que isso não serve para fazer gestão de stock, mas sim unicamente para contabilizar e justificar os gastos de material que a empresa tem na manutenção de cada equipamento. Trata-se de um mecanismo para garantir a rastreabilidade dos custos e o acompanhamento dos recursos aplicados em cada intervenção.

As tarefas desenvolvidas incluíram a criação de novas ordens de trabalho (Figura 4.1) com base nas intervenções realizadas pelo técnico, nas quais era necessário preencher diversas informações essenciais obrigatórias, nomeadamente:

- Equipamento intervencionado;
- Sector do equipamento;
- Tipo de manutenção;

Ordem Trabalho

OT N.º: 095979 Descrição: substituição de pressóstato da bomba da água Terminada

Origem: Gestão Pedidos Diagnóstico Tarefas Preparações Mão de Obra Artigos Outros Custos Leituras Ferramentas Documentos Notas

Objecto: FUN01 - MOINHO SPACE (A205085010000) (A) Rotáveis Grau Urgência: Normal

Sistema: 01.040.14 - SECTOR DAS AREIAS PREPARADAS Contrato:

C. Custo: 01.164201 - FUNDIÇÃO Interventor: Interno Externo

Projecto: Função:

FMP: Responsável:

Tipo Trab.: B1 - PREVENTIVO CONDICIONAL

Prev. TDM (H): 0.00 Bloquear temporariamente OT Cód. Utiliz. N.º 01: Cód. Utiliz. N.º 02:

Periodicidade: Data Fixa Calendário: Registos: (H) Próxima FMP: Registo Fixo

Terminar NR Encerrar OK Cancelar Aplicar

Figura 4.1 - Criação da ordem de trabalho

De seguida são apresentadas algumas apresentadas algumas imagens com os respetivos campos a preencher:

- Intervalo de horas realizadas (Figura 4.2);

Figura 4.2 - Introdução de horas na intervenção

- Consumíveis utilizados (Figura 4.3)

Figura 4.3 - Registo de consumíveis utilizados

Este processo contribui para a construção de um histórico fiável das manutenções realizadas em cada equipamento, facilitando futuras análises, diagnósticos e decisões fundamentadas, nomeadamente no que diz respeito ao planeamento de manutenções preventivas e à identificação de padrões de falha.

Em suma, ManWinWin revela-se uma ferramenta essencial no apoio à gestão da manutenção, permitindo otimizar a utilização dos recursos. A aplicação do ManWinWin procura:

- Aumentar a disponibilidade dos equipamentos;
- Aumentar intervenções preventivas e reduzir intervenções corretivas;
- Auxiliar na gestão dos colaboradores;
- Auxiliar na gestão de stock.

O contacto com o ManWinWin permitiu o desenvolvimento de competências técnicas no âmbito da gestão da manutenção industrial, bem como reconhecer a importância de uma recolha e registo de dados técnicos precisos, essenciais para uma gestão mais eficiente dos equipamentos.

4.2 Gestão de stock no departamento de manutenção

No departamento de manutenção os colaboradores têm um papel fundamental e decisivo para garantir o bom funcionamento do sistema Kanban, sendo responsáveis pela gestão visual do stock existente, uma vez que são responsáveis por realizar visualmente a gestão de stock existente. No momento da recolha de um material os colaboradores devem verificar se a quantidade disponível é igual ou superior ao stock mínimo previamente definido. Caso o valor em stock seja inferior ao limite estipulado, o Kanban móvel é retirado, permanecendo no local apenas o kanban fixo, que assinala a necessidade de reposição e facilita a correta identificação do material em falta (Figura 4.4). Diariamente, um engenheiro do departamento recolhe os cartões acumulados e dá início ao processo de reposição e aquisição dos materiais necessários, garantindo assim a continuidade do fluxo de abastecimento sem comprometer a operacionalidade do setor.



Figura 4.4 - Kanban fixo e móvel

Assim que os produtos encomendados chegam ao gabinete da manutenção, local onde são centralizadas todas as entregas do departamento, o engenheiro responsável procede ao seu armazenamento e recoloca o kanban móvel no respetivo local, restabelecendo o ciclo do sistema.

Os técnicos de manutenção têm um papel decisivo na gestão de stock, uma vez que o seu correto funcionamento depende da comunicação atempada das baixas de materiais. Esta responsabilidade é ainda mais crítica no caso de componentes de substituição específicos, como motores ou bombas, cujo stock mínimo é reduzido a poucas unidades, tornando a reposição mais sensível a atrasos. Para assegurar a reposição eficiente, os técnicos devem colocar o cartão kanban no local previamente definido, permitindo que o engenheiro responsável avance com o processo de compra. A eficácia deste mecanismo depende, portanto, não apenas do sistema em si, mas também do rigor e disciplina dos colaboradores na sua utilização.

Na prática, este sistema nem sempre funciona de forma eficaz. Quando ocorre uma avaria corretiva que compromete a linha de produção, a prioridade recai naturalmente sobre a reparação imediata. Contudo, esta urgência pode levar ao esquecimento ou ao atraso na entrega do cartão kanban, colocando em risco o cumprimento do stock mínimo e, conseqüentemente, a disponibilidade de materiais essenciais.

Na Fucoli-Somepal, estão implementados dois sistemas de kanban com funções ligeiramente diferentes:

- Controlo de consumíveis;
- Controlo de produção.

No âmbito do controlo de consumíveis do departamento de manutenção da Fucoli-Somepal, utilizam-se cartões plastificados, concebidos para garantir resistência e durabilidade. Nestes cartões são registadas informações essenciais para a gestão eficiente do setor, incluindo: a descrição do produto; a quantidade mínima necessária em stock para assegurar a continuidade das operações de manutenção; a quantidade a adquirir; um número identificador da secção onde o material está localizado; um código de barras; e um código interno associado ao produto, que permite introduzir os dados no sistema interno da empresa. Este sistema agiliza o processo de compra, assegura um acompanhamento rigoroso do inventário e facilita o acesso a informações detalhadas sobre cada produto.

O kanban (Figura 4.5) integra ainda a designação KMT - sigla para Kanban, Manutenção, Tamanho - acompanhada por um número que varia entre 1 e 16, sendo o tamanho 1 o de menor dimensão. Este código indica as dimensões específicas do Kanban, um aspeto particularmente relevante, uma vez que existem diferentes tamanhos de caixas, cada uma com um tipo de encaixe próprio para a inserção do Kanban.



Figura 4.5 – Exemplo de cartões kanban para gestão de consumíveis na manutenção

Atualmente, o código de barras do sistema Kanban não se encontra a ser utilizado. Todavia, a aquisição de leitores de código de barras seria um investimento futuro estratégico e promissor para a empresa visto que, possibilitaria uma informatização do controlo de stock mais intuitiva e eficiente, em que os colaboradores responsáveis pela manutenção apenas precisariam de digitalizar o código de barras do Kanban e a quantidade utilizada, otimizando assim o processo e garantindo uma maior precisão na gestão de inventário.

No que respeita ao controlo de produção a Fucoli-Somepal adota a filosofia de produção "Just-in-Time", segundo a qual as peças apenas são produzidas após a receção das encomendas, evidenciando o papel crucial do sistema Kanban na organização e eficiência do processo produtivo.

Atualmente, a gestão de stock no departamento de manutenção é realizada exclusivamente de forma visual, o que aumenta a probabilidade de falhas. Mesmo que técnicos e engenheiros registem de forma rigorosa a utilização de materiais no software de gestão da manutenção ManWinWin, não existe qualquer parametrização de valores mínimos de stock por tipo de material. Este facto revela uma subutilização das funcionalidades do próprio sistema, que permitiria uma gestão mais eficiente, estruturada e menos dependente de verificações visuais suscetíveis ao erro humano.

Além disso, o facto das compras serem realizadas no RCSoft e não diretamente no ManWinWin, aliado à ausência de comunicação entre os dois softwares, obriga a uma duplicação de processos. Por exemplo, na receção de uma encomenda é necessário confirmar a receção de mercadoria no RCSoft e em simultâneo proceder ao registo de reabastecimento de stock no ManWinWin, aumentando a possibilidade de erros e atrasos.

Durante o estágio, foi identificada uma fragilidade significativa na gestão de stock: o processo de reposição depende quase exclusivamente da observação visual dos técnicos, o que pode originar situações de rutura de materiais. Como proposta de melhoria, recomenda-se a introdução de stocks mínimos no sistema de gestão da manutenção ManWinWin, permitindo que os engenheiros sejam automaticamente notificados sempre que o nível de um consumível atinja o limite mínimo, tornando o processo de reposição mais ágil e fiável.

Com esta abordagem os técnicos teriam apenas de registar os materiais utilizados no preenchimento das respetivas ordens de trabalho, ficando a reposição de stock a cargo do sistema. A responsabilidade pela aquisição deixaria de depender da perceção subjetiva dos colaboradores sobre a disponibilidade de materiais, assegurando um controlo mais rigoroso, eficiente e menos suscetível a falhas, além de otimizar o fluxo de trabalho do departamento de manutenção.

4.3 Organização de armazém

A importância de um armazém organizado é substancial para o bom funcionamento de qualquer departamento, e o departamento de manutenção não é exceção. Ter todas as peças, ferramentas e consumíveis devidamente identificados, localizados e organizados permite uma gestão mais eficiente dos recursos, reduzindo o tempo de procura e aumentando a produtividade da equipa. Além disso, facilita a identificação de possíveis vulnerabilidades no stock como a ausência de materiais críticos ou a reposição tardia de consumíveis, o que pode comprometer a resposta em emergências.

O armazém da empresa está repleto de peças e consumíveis de diferentes tipos, destinados a uma grande variedade de equipamentos, o que torna a organização um desafio mais complexo. Esta diversidade aumenta o risco de ocorrer a falta de itens críticos no momento que fossem necessários.

Um dos principais problemas identificados inicialmente foi a presença significativa de pó acumulado em todas as superfícies, prateleiras, peças e consumíveis, além de que, existia uma grande quantidade de peças esquecidas ou fora de uso nas partes menos acessíveis das prateleiras. Isto decorre de alguma desorganização e do excesso de materiais desnecessários, o que dificultava a visualização do stock disponível e aumentava o risco de perdas, duplicações de compra e atrasos na resposta a necessidades de manutenção. Ficou evidente que a implementação de uma metodologia de organização seria imprescindível não apenas para melhorar a limpeza, organização e apresentação do espaço, mas também para otimizar a sua funcionalidade enquanto armazém.

4.3.1 Implementação dos 5s

Identificou-se que este seria um ponto crítico onde se podia contribuir para promover uma melhoria significativa na situação observada. Dada a situação, optou-se por implementar a metodologia 5s no armazém de manutenção de forma a tornar o espaço mais eficiente e funcional. Esta abordagem permitiu eliminar desperdícios, melhorar a organização dos materiais, garantir maior limpeza e implementar métodos de controlo, como o planeamento semanal de limpeza, através da designação de uma pessoa para a sua execução, de forma a garantir a continuidade do processo.

Este capítulo descreve a abordagem utilizada para implementar os 5s, detalhando as etapas realizadas, os principais desafios que foram encontrados, e os resultados esperados no contexto da melhoria do ambiente de trabalho, da organização do armazém e da eficiência operacional.

1º S - Senso de utilização

Numa fase inicial foi realizada uma triagem rigorosa de todos os materiais presentes no armazém com o objetivo de identificar e separar os consumíveis que eram necessários e os que já não apresentavam utilidade. Durante este processo foram identificados e removidos diversos materiais obsoletos, caixas vazias, embalagens vazias (Figura 4.6) e componentes que já não eram utilizados há bastante tempo, inclusive de alguns equipamentos que já se encontram fora de serviço (Figura 4.7). Esta triagem permitiu libertar espaço e reduzir a confusão visual. A aplicação deste princípio permitiu libertar espaço físico e reduzir a desorganização visual do armazém. Além disso, contribuiu para facilitar a localização de materiais relevantes, promovendo um ambiente mais funcional e eficiente.



Figura 4.6 - Remoção de embalagens vazias



Figura 4.7 - Remoção de materiais obsoletos

2º S - Senso de organização

Embora já existisse alguma organização prévia com peças agrupadas por tipo e dimensão, bem como componentes associados aos respetivos equipamentos, verificou-se que ainda havia diversos materiais espalhados ou mal identificados. Além disso, foi identificado que existiam consumíveis armazenados em zonas de difícil acesso e com pouca visibilidade, o que dificultava a sua utilização e controlo (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Prateleira na forma inicial com consumíveis pouco visíveis

Na Figura 4.9 apresenta-se um exemplo do resultado da reorganização do espaço destinado a consumíveis. A intervenção realizada permitiu melhorar significativamente a disposição dos materiais tornando-os mais visíveis, acessíveis e fáceis de identificar. O espaço foi limpo e estruturado de modo a facilitar a reposição.



Figura 4.9 - Prateleira organizada e com todos os consumíveis visíveis

Nestas prateleiras, embora não estejam devidamente identificadas nas figuras apresentadas, encontravam-se armazenados consumíveis utilizados na máquina de moldar e no forno.

Com o apoio de um serralheiro, foi desenvolvido e instalado um suporte para os guindastes, com o objetivo de evitar que estes fossem arrumados no chão. Este suporte contribuiu para uma melhor organização e visibilidade, bem como para a melhoria do aspeto geral do espaço (Figura 4.10).

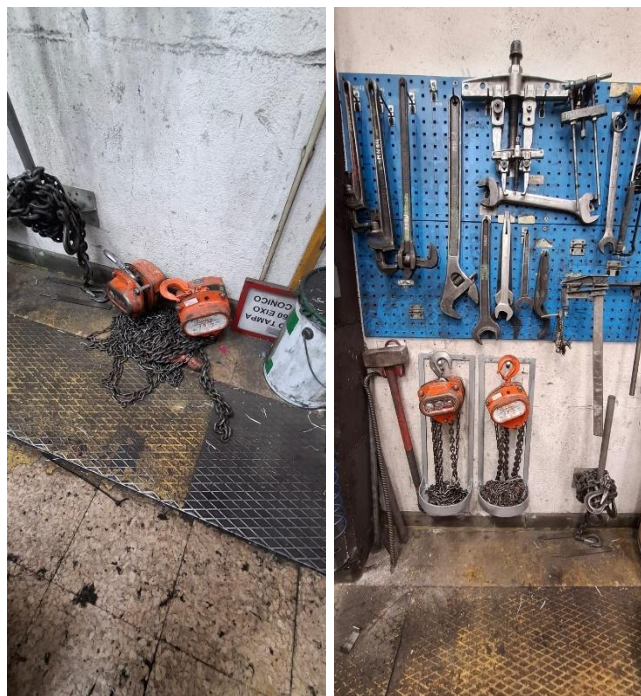


Figura 4.10 – Guindastes antes e depois de desenvolver o suporte

3º S - Senso de limpeza

Promoveu-se junto dos técnicos uma limpeza profunda de todas as prateleiras, bancadas e armários do armazém, removendo sujidade acumulada, embalagens e materiais obsoletos. Isto melhorou o ambiente de trabalho como também contribuiu para a preservação dos materiais armazenados.

Com o objetivo de manter este padrão foi implementada uma rotina de limpeza semanal com tarefas atribuídas de forma rotativa entre os colaboradores. Esta prática reforça o compromisso para um ambiente mais limpo, organizado e eficiente, promovendo a responsabilização individual e o espírito de equipa.

4º S - Senso de padronização

Nesta fase procurou-se reforçar os métodos de padronização que já existiam no armazém, nomeadamente o sistema kanban que já se encontrava implementado. Ao verificar as prateleiras, identificaram-se consumíveis que ainda não dispunham de um kanban fixo. Foram criados cartões kanban para garantir que todas as peças tivessem devidamente identificadas, e assegurou-se que a disposição dos materiais nas prateleiras correspondia ao respetivo kanban. Estabeleceram-se prateleiras para agrupar os consumíveis do mesmo equipamento.

5º S - Senso de disciplina

Durante o período de estágio foi reforçada junto dos colaboradores a importância de preservar os resultados alcançados com a implementação dos sentidos da metodologia 5S. Destacou-se o impacto positivo de trabalhar num ambiente limpo, organizado e com os materiais e consumíveis devidamente identificadas, o que não

só facilita as tarefas diárias como também contribui para um espaço de trabalho mais agradável.

Foi promovido e incentivou-se ao compromisso individual para que cada colaborador adote uma postura proativa na manutenção da organização e limpeza. Através deste compromisso, procura-se a continuidade da metodologia 5S, assegurando que as melhorias implementadas se mantêm.

4.3.2 Realização de inventário e atualização da folha de inventário

Durante a preparação para a realização do inventário anual do armazém de manutenção, constatou-se com uma folha de inventario feita em 2018, que serve para auxiliar na realização do inventário anual da empresa. Esta folha de inventário já não refletia com precisão a realidade atual do armazém. Constatou-se que continha diversos consumíveis obsoletos, que atualmente já se encontram fora de utilização, bem como a ausência de consumíveis que foram introduzidos nos últimos anos. Posto isto, considerou-se essencial atualizar a folha de inventário, com o objetivo de:

- Retirar peças que já não são utilizadas;
- Introduzir novas peças e consumíveis introduzidos nos últimos anos;
- Melhorar a fiabilidade e precisão do processo de inventário anual.

Esta atualização permite um controlo mais rigoroso do stock disponível, promovendo uma gestão mais eficiente e racional dos materiais de armazém. Garantir que a folha de inventário reflete com precisão os materiais efetivamente utilizados nas intervenções de manutenção, minimiza os erros de contagem, perdas de stock e aquisições desnecessárias.

No âmbito desta atualização foram adicionados aproximadamente 300 consumíveis à folha de inventário, apresentada na Figura 4.11. Estes consumíveis correspondem a novos materiais que passaram a ser utilizados pela introdução de novos equipamentos, ou atualização de novos consumíveis. Para além disso, retirou-se 100 consumíveis que já não são utilizados, por atualização de consumíveis mais recentes, ou pelo facto de certos equipamentos estarem obsoletos e já não ser preciso os consumíveis respetivos à sua manutenção.

LOCAL	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Ano Anterior	Em Stock
MAN 0	MDR1153	ANI LIGAÇÃO 10E 1/4 X 10 ASO 10408	77	
MAN 0	MDR1205	PISTOLA SOPRAR CANO CURTO	2	
MAN 0	MDR1303	SPRAY ANTI-FERRUGEM 400 DWMD-48	5	
MAN 0	MDR1520	ANI LIGAÇÃO 10E 1/4 X 8 ASO 10406	10	
MAN 0	MDR2616	UNIAO C/BICONE 1/4X8MM		
MAN 0	MDR3544	RODA BOCAL (ACESSORIO ASPIRADOR DELFIM)	16	
MAN 0	MDR4356	SPRAY DVMD-39	5	
MAN 0	MDR4356	COLA RAPIDA PERMABOND A-1044 200G(LOCT577)	1	
MAN 0	MDR4518	CONJUNTO ENGATE RAPIDO MACHO/FÊMEA INOX C/VALV.RET C/ROSCA FÊMEA DE 5/18	2	
MAN 0	MDR5073	BORRACHA DO BOCAL (ACESSORIO ASPIRADOR DELFIM)	0	
MAN 0	MDR533	ROLAMENTO UC 211 KOYO(P/CHUMAC.RED.55)	1	
MAN 0	MM10791	JOELHO BICONE C/PORCA LATAO 12MM X 1/2"		
MAN 0	MM10989	UNIAO APERTO RAP. PE 06		
MAN 0	MM3557	RACOR AR/C JOELHO RAP.GIRA/MACHO 12X1/2"	5	
MAN 0	MM3559	RACOR AR/C JOELHO RAP.GIRA/MACHO 12X1/4"	7	
MAN 0	MM4889	SILENCIADOR AR/C BRONZE SEXT. 1/4"	10	
MAN 0	MM5244	COLA DCRC SOFT-LOCK 50ml	1	
MAN 0	MM5531	SILENCIADOR AR/C BRONZE SEXT. 3/8"	5	
MAN 0	MM6368	RACOR AR/C JOELHO MACHO RAPIDO 10X1/4"		
MAN 0	MM6431	RACOR AR/C LIGADOR MACHO RAPIDO 12X1/2"	6	

Figura 4.11 – Excerto da folha de inventário atualizada

Na Figura 4.11 é apresentado a folha de inventário feita, com uma identificação da prateleira conforme o que está identificado no armazém físico, o código kanban, a descrição do consumível, bem como o stock no ano anterior de inventário, e um local de preenchimento para o ano atual.

4.4 Análise da eficiência da linha de produção

Foi realizada uma análise dos dados operacionais referentes à linha de produção, com foco na máquina de moldar, um dos principais equipamentos centrais do processo produtivo, cuja eficiência está condicionada pelo funcionamento e desempenho das etapas anteriores e subsequentes. O objetivo desta análise foi avaliar a eficiência dos processos e identificar potenciais oportunidades de melhoria ao nível da produtividade e fiabilidade.

4.4.1 Enquadramento

A máquina de moldar ferro fundido é responsável pela produção dos moldes de areia de modo a receberem o metal líquido, e ficarem com a forma do molde. O processo inicia-se na preparação de areia, garantindo o seu estado ideal para suportar as altas temperaturas do metal líquido. A força de compressão introduzida é muito importante para garantir a precisão da moldação, cujo valor é baseado consoante a altura do molde. A preparação de areia consiste na monitorização e consequente adaptação da humidade e temperatura da areia. De seguida, a areia é despejada nas caixas de moldação e compactada através da placa molde introduzida na máquina de moldar, originando as cavidades dos moldes Figura 2.10.

Unindo as duas metades do molde, o ferro fundido é vazado, a partir da Tundish que habitualmente se designa por colher, que consiste essencialmente num sistema de vazamento automático de ferro fundido para as caixas onde os moldes formam as peças (Figura 4.12).



Figura 4.12 - Colher de vazamento automático (Tundish)

Após o vazamento a caixa de moldação continua por um sistema que permite o arrefecimento lento do ferro, com duração de aproximadamente 1 hora até à próxima etapa. As 3 vias apresentadas na Figura 4.13 são principalmente para o arrefecimento lento, bem como para a extração do ferro em excesso situado no cimo da caixa, através de um íman.



Figura 4.13 - Sistema Dyutec

De seguida, as caixas de moldação são desmoldadas e atravessam por uma mesa vibratória onde ocorre a remoção da areia residual, seguindo depois para um tapete metálico que direciona as peças para um operador que retira os gitos (Figura 4.14), e outro operador num manipulador que coloca as peças nos cestos da granalha.



Figura 4.14 - Tapete metálico após desmoldamento

Assim torna-se evidente que caso algum destes sistemas falhe, o processo produtivo fica comprometido.

Era visível que o número de moldações diárias estava abaixo do esperado, mas a causa não era clara. Além disso, foi considerado que descobrir a causa e analisar a eficiência da linha de produção seria uma excelente oportunidade. Pelo facto da máquina de moldar ser o equipamento com tiragem de dados mais rigorosa, dada à sua importância e por ter uma relação direta com a quantidade de peças produzidas, realizou-se a análise de desempenho dessa máquina, que reflete o desempenho da linha de produção.

Em agosto de 2023 tinham sido feitos dois investimentos significativos na linha de produção, com a expectativa de aumentar aproximadamente 100 moldações diárias. Estes dois investimentos na linha de produção foram:

- Na Tundish foi realizado um investimento na otimização do software, permitindo que a colher ajuste a posição de vazamento conforme a quantidade de ferro fundido necessária em cada caixa em específico.
- Na máquina de moldar o molde de uma placa molde é pressionado contra a areia que se encontra nas caixas, de forma a formar uma cavidade que define

a forma que será preenchida por ferro fundido. Anteriormente, a troca destas placas moldes responsáveis pelo formato das peças era realizada manualmente. O operador tinha de trocar a placa molde, com o sistema parado, um processo que demorava aproximadamente 90 segundos por troca. Para reduzir e otimizar este tempo foi feito um investimento num sistema automático de troca de moldes. Através desta inovação o operador apenas precisa de posicionar as placas molde no porta-placas (Figura 4.15), enquanto o sistema se encarrega de buscá-las e realizar a troca de forma totalmente automática, eliminando o tempo de paragem associada a esta operação.



Figura 4.15 - Porta placas da máquina de moldar

Este investimento na máquina de moldar permitiu aumentar a diversidade de peças produzidas, já que antes era necessário fabricar uma grande quantidade da mesma peça através do mesmo molde, de modo a evitar trocas de moldes. Além disso, permitiu eliminar uma das maiores causas de paragem, nomeadamente a paragem por troca de moldes.

4.4.2 Processo de aquisição de dados

No que diz respeito à monitorização de paragens, sempre que ocorre uma avaria na linha de produção que comprometa o funcionamento da máquina de moldar, o

operador deve acionar o botão correspondente à causa da falha, conforme ilustrado na Figura 4.16. Na Figura 4.16 são apresentados botões de alerta mais específicos, direcionados para equipamentos críticos de modo a facilitar uma intervenção mais rápida.



Figura 4.16 - Acionamento de alerta de avaria

Foram consideradas 7 principais causas decorrentes das falhas ilustradas na Figura 4.16:

- Operadores de vazamento;
- Troca de moldes;
- Ferro nas caixas;
- Porta aberta máquina de moldar;
- Modo manual.
- Separação de caixas;
- Sistema de areias.

Este procedimento gera um alerta para a equipa de manutenção, que permite uma resposta o mais rápido possível ao problema. Após a resolução da avaria, o operador deve rodar o botão de modo a notificar que a avaria foi resolvida. Automaticamente, é exibida uma página no layout da máquina de moldar onde o operador deve registar a ocorrência, especificando a causa exata do problema. Por exemplo, se a avaria estiver relacionada com o “Sistema de areias”, deve indicar qual foi a falha no contexto dessa causa. De seguida, reuniu-se toda a informação relativa a 2023 e 2024 fornecida pelos operadores e registou-se no Excel para posteriormente analisar.

Em termos de contabilização do número de moldações produzidas diariamente, no final do dia o engenheiro responsável pela produção fotografa o layout da máquina de moldar, conforme ilustrado na Figura 4.17 e aciona um botão que gera

automaticamente o relatório diário de produção. De seguida, a fotografia é arquivada em conjunto com o relatório gerado, que contém a identificação das moldações e peças produzidas organizados por data numa pasta. Este procedimento permite efetuar o balanço diário da produção, facilitando a contabilização das peças produzidas.



Figura 4.17 - Layout máquina de moldar

O próximo passo consistiu na introdução de todos os dados referentes a 2023 e 2024 no Excel, onde serão processados e analisados, de modo a obter informações sobre as paragens e a produção. No final de cada dia são colocadas fotos do layout da máquina de moldar numa pasta, com a informação relativa às moldações, e a informação relativa às causas de paragem (Figura 4.18 e Figura 4.19 respetivamente).

Total Moldações:	Moldações Estragadas:	Trocas de Placa Molde:
3 Un.	0 Un.	0 Un.
440 Un.	8 Un.	27 Un.
241 Un.	8 Un.	12 Un.
0 Un.	0 Un.	0 Un.
0 Un.	0 Un.	0 Un.
0 Un.	0 Un.	0 Un.
0 Un.	0 Un.	0 Un.
0 Un.	0 Un.	0 Un.
0 Un.	0 Un.	0 Un.
6 Un.	0 Un.	0 Un.

a:
inuto:
30

Paragem com Porta Aberta e Máquina em Automático:
51,017 Min.

Figura 4.18 - Layout com informação sobre moldações e uma paragem

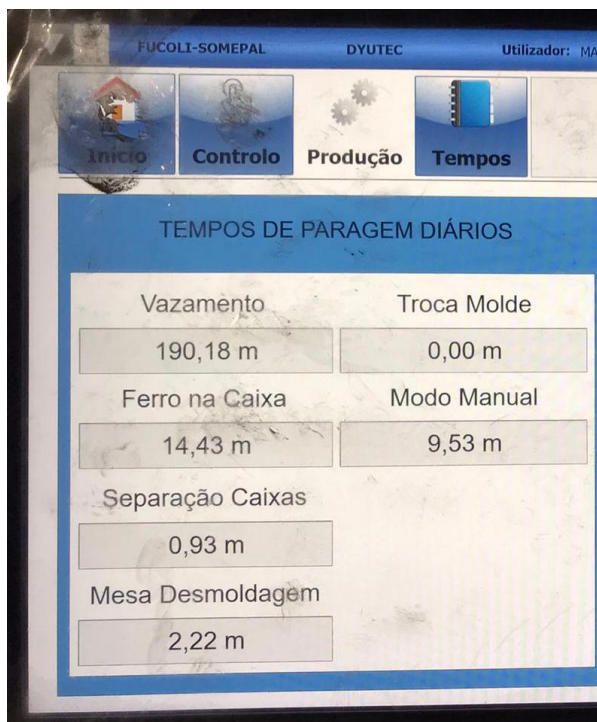


Figura 4.19 - Layout com tempos de paragem diários

Através da compilação dos dados referidos da recolha e tratamento dos dados foi possível obter dados bastante precisos, reunidos numa folha de cálculo (Tabela 4-1).

Tabela 4-1 - Dados analisados

Dias de produção	223		Moldações			Causas de paragem(min)							
	Tempo de produção diário	DIA NUM	Feitas	Boas	Estragadas	Operadores do vazamento	Troca de Molde	Ferro nas caixas	Porta aberta Máquina de Moldar	Modo manual Sistema Dyutec	Separação de caixas	Sistema de areias	Total de paragem
01/01/2023	00:00:00	0,00											0
02/01/2023	00:00:00	0,00											0
03/01/2023	12:48:09	12,80	552	527	25	50,38	48,33	12,03		27,28	0	98,68	236,7
04/01/2023	12:40:33	12,68	937	911	26	41	64,53	26,05		1,9	1,1	27,75	162,33
05/01/2023	12:58:23	12,97	979	955	24	67,35	53,53	12,25		2,2	1,33	11,25	147,91
06/01/2023	12:46:01	12,77	970	961	9	42	83,05	13,58		8,32	4,43	18,33	169,71
07/01/2023	12:57:31	12,96	957	933	24	67,58	87,27	12,77		0,47	0	29,03	197,12
08/01/2023	00:00:00	0,00											0
09/01/2023	00:00:00	0,00											0
10/01/2023	12:48:09	12,80	966	931	35	35,3	83,55	12,95		10,83	0	8,83	151,46
11/01/2023	13:12:03	13,20	983	960	23	45,53	100,27	40,68		2,22	1,05	35,92	225,67
12/01/2023	13:22:31	13,38	899	891	8	55,57	59,2	20,55		43,47	0,93	0	179,72
13/01/2023	13:01:13	13,02	932	902	30	69,53	70,72	22,48		4,65	0,83	8,35	176,56
14/01/2023	12:59:59	13,00	956	935	21	37,85	66,98	27,32		30,6	0,2	7,02	169,97

4.4.3 Análise da produção

Na análise relativa à produção, foram contabilizados o número de moldações boas e o número de dias e horas de produção. Observa-se na Figura 4.20 a evolução comparativa mensal de moldações boas ao longo dos anos de 2023 e 2024.

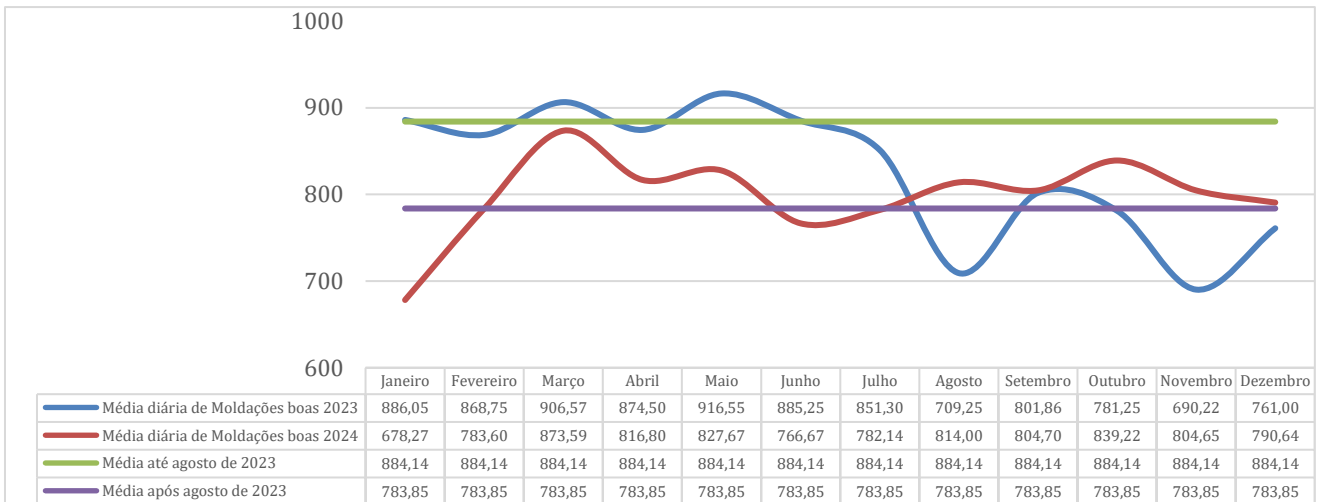


Figura 4.20 - Comparação mensal da média diária de moldações boas: 2023 vs 2024

A Figura 4.20 evidencia uma tendência de redução na média diária de moldações produzidas após a implementação dos investimentos realizados em agosto de 2023. Observa-se uma diminuição média de aproximadamente menos 100 moldações diárias após os investimentos, o que corresponde a uma redução de cerca de 11% na produção diária, ao contrário do que se esperava. A Figura 4.20 demonstra este decréscimo particularmente visível a partir de agosto de 2023, coincidindo com a data onde foram realizados os investimentos. Desde essa data, a produção diária não voltou a atingir níveis registados anteriormente, o que indica a possibilidade da existência de constrangimentos operacionais que foram provocados por estes investimentos.

De modo a analisar mais detalhadamente fomos analisar cada componente do OEE individualmente nos próximos capítulos.

4.4.4 Análise de desempenho

A análise de desempenho tem como objetivo avaliar e medir a eficiência operacional de uma linha de produção, face à velocidade e capacidade de produção definida como objetivo. Neste contexto foi contabilizada a média diária em cada mês, a produção desejada, com base no tempo de cada moldação ser 37 segundos, e no tempo de produção diário sem contabilizar paragens.

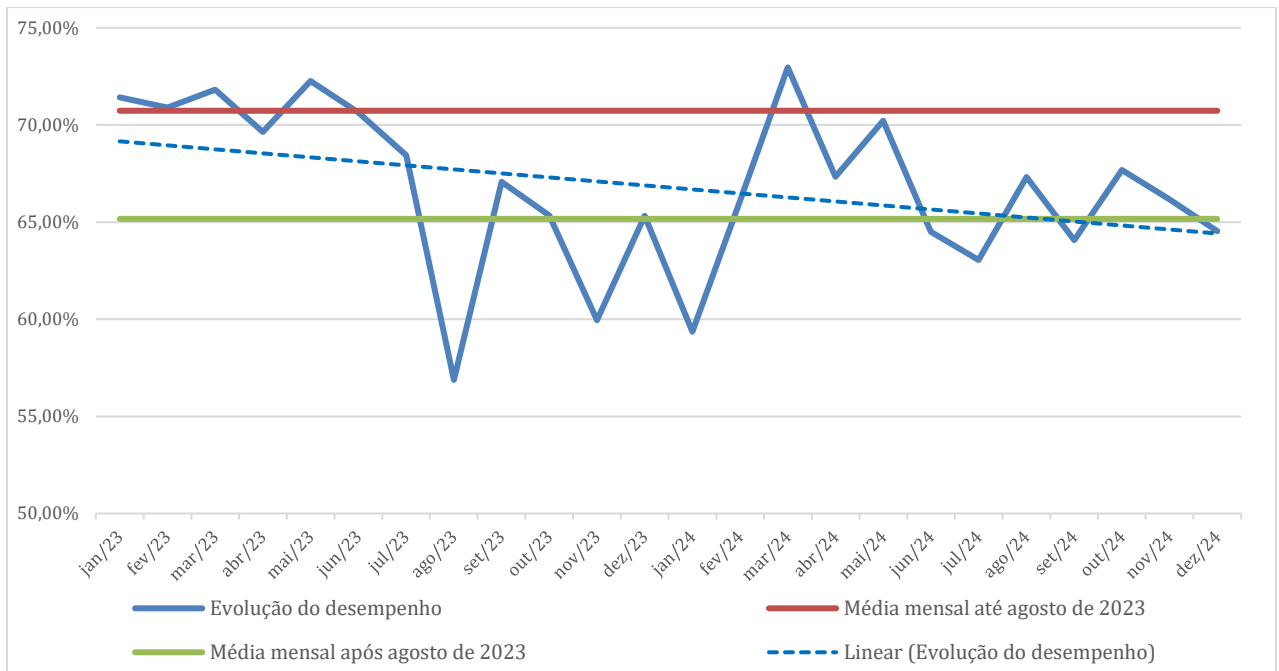


Figura 4.21 - Evolução do desempenho em 2023 e 2024

A Figura 4.21 mostra que a produção real diária teve um decréscimo em agosto de 2023, e nunca voltou aos valores anteriores. Para além disso, para melhor ilustrar a diferença entre antes e depois de agosto de 2023 realizou-se a média, ilustrada na Figura 4.22.

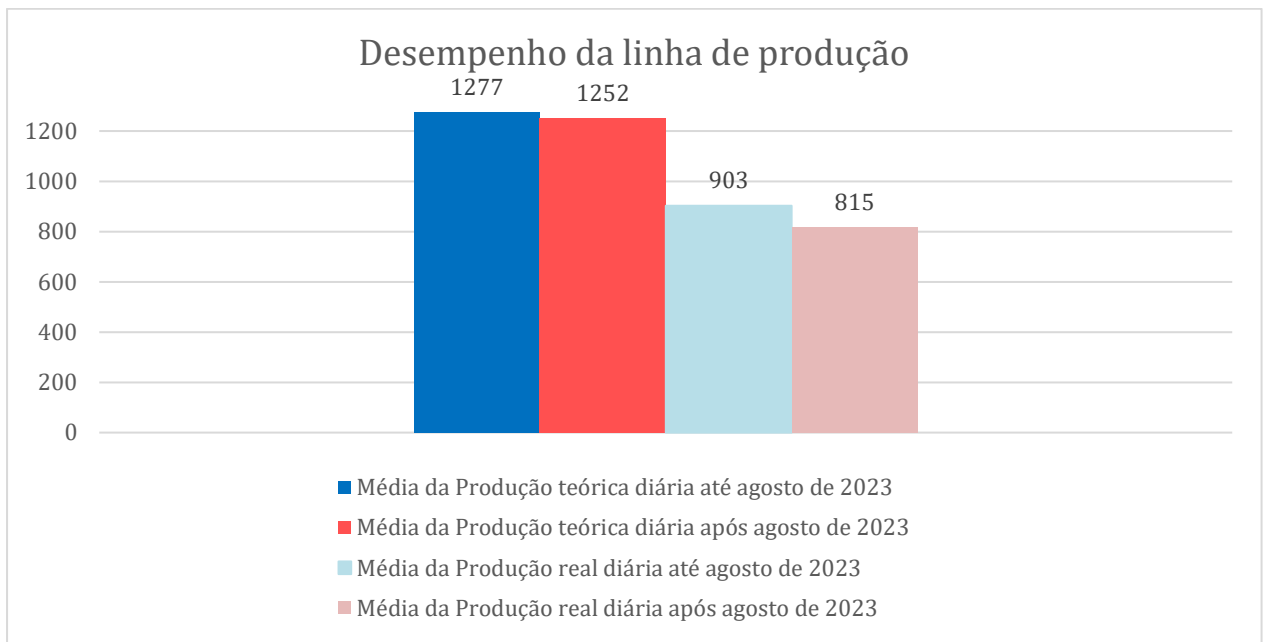


Figura 4.22 - Desempenho antes e depois de agosto de 2023

Observa-se pela Figura 4.22 que a produção real média diária teve um decréscimo significativo após agosto de 2023. Esta redução pode exigir ajustes, melhorias e redefinições de parâmetros de funcionamento, que condicionaram os benefícios dos investimentos realizados. Apesar de uma das principais causas de paragem ter sido

eliminada com a introdução do novo sistema automático de troca de moldes, esperava-se em contrapartida um aumento da produção. No entanto, a produção acabou por ser prejudicada.

4.4.5 Análise da disponibilidade

Na análise das paragens, foram considerados os registos de tempo de inatividade da máquina, identificando tanto a causa da interrupção como a sua duração. Foram consideradas 7 causas principais:

- Operadores de vazamento;
- Troca de molde;
- Ferro nas caixas;
- Porta aberta da máquina de moldar;
- Modo Manual;
- Separação de caixas;
- Sistema de areias.

A Figura 4.23 apresenta a disponibilidade da linha de produção de 2023 e 2024.

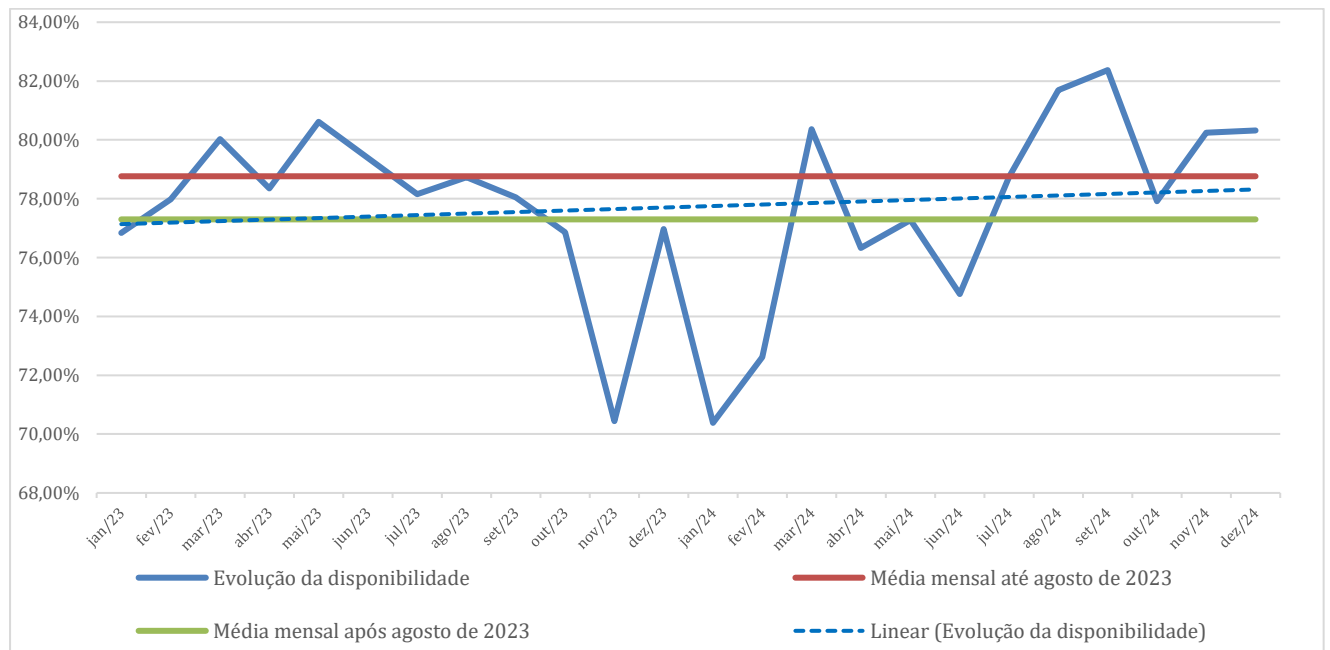


Figura 4.23 - Evolução da disponibilidade em 2023 e 2024

Com a implementação do sistema automático de troca de moldes o tempo de paragem associada a essa operação foi reduzido a zero. Além disso, apenas a partir de fevereiro de 2024 começou a ser contabilizada a paragem devido à abertura da porta, embora essa paragem já ocorresse anteriormente sem ser registada, sendo contabilizada como tempo produtivo. A comparação entre as diferentes causas de

paragem permite identificar tendências, avaliar quais têm maior impacto na produção, e compreender a sua evolução ao longo do tempo. O Figura 4.24 ilustra a diferença entre os anos 2023 e 2024, realçando estas variações.

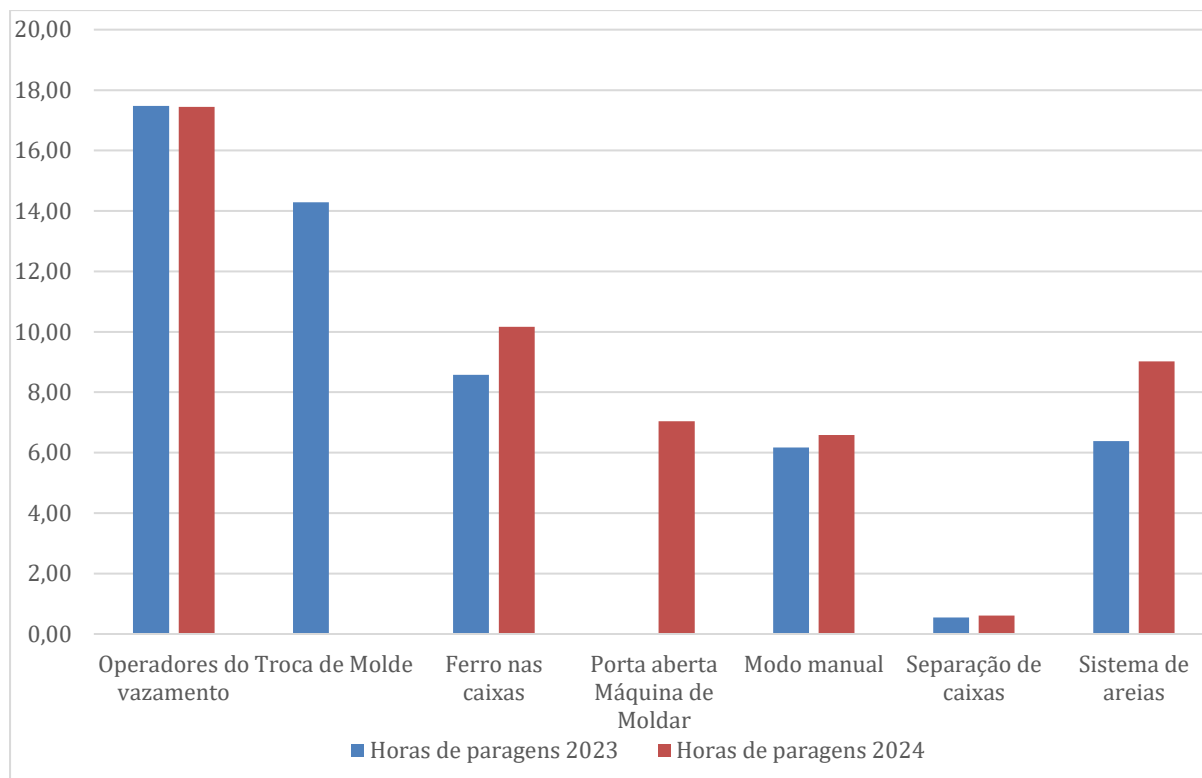


Figura 4.24 - Comparação entre horas de paragem: 2023 vs 2024

A Figura 4.24 evidencia que as paragens relacionadas com o sistema de areias e o ferro nas caixas foram as que tiveram um maior aumento. No entanto, considerando que houve um investimento no sistema de vazamento, era esperado que essa causa de paragem diminuísse, o que não se verificou. O tempo de paragem por troca de moldes anulou-se. As restantes causas de paragem mantiveram-se idênticas.

De forma a analisar de forma mais precisa a variação das causas de paragem da linha de produção foi elaborado um gráfico comparativo que exclui a troca de molde uma vez que foi anulada após os investimentos, bem como a porta aberta que não era considerada inicialmente. A Figura 4.25 permite observar de forma clara as alterações nas paragens antes e depois de agosto de 2023.

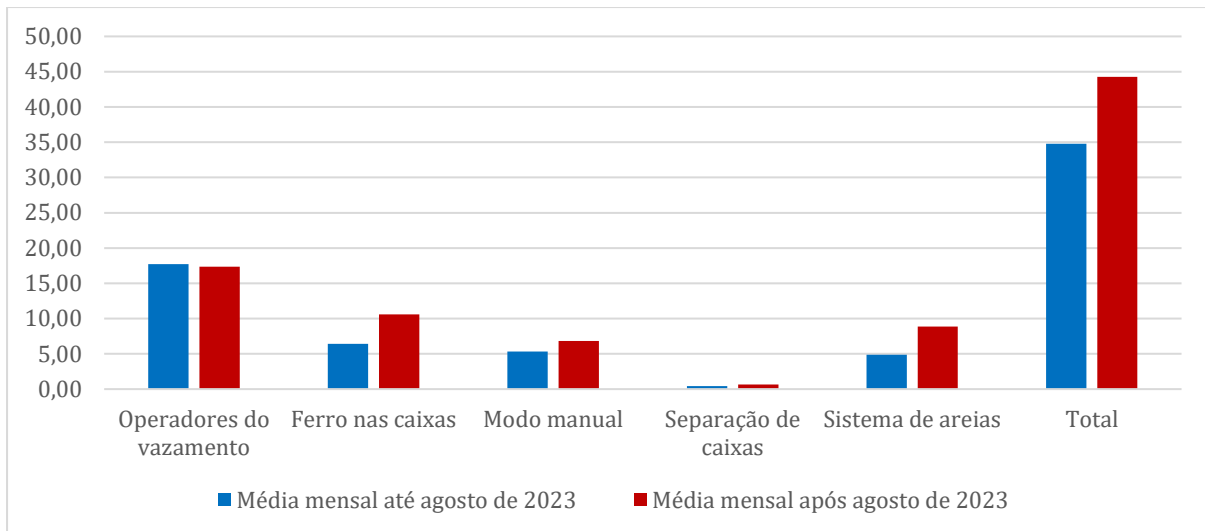


Figura 4.25 - Análise detalhada de paragens

Apesar de ainda se anular uma das principais causas de paragem nomeadamente a troca de moldes, graças à implementação do sistema automático de troca de moldes, o tempo total de paragem anual não apresentou a redução esperada, já que esse tempo foi repostado pelo aumento das outras causas de paragem. Da mesma forma, o investimento no sistema de vazamento automático não resultou na redução do tempo de paragem. Além disso, o facto da paragem causada pela porta aberta da máquina de moldar ter começado a ser registada apenas em fevereiro de 2024, não deve ser interpretada como um fator que passou a influenciar a produção, já que antes dessa data já acontecia a paragem, mas simplesmente não era contabilizada nos registos.

4.4.6 Análise de qualidade

A análise da componente de qualidade tem como objetivo avaliar a proporção de produtos que correspondem aos requisitos de conformidade em relação ao total produzido. Este indicador reflete a eficiência dos processos de produção, bem como as medidas de controlo de qualidade implementados. Na Figura 4.26 é apresentada a evolução mensal da média das moldações estragadas relativamente às produzidas, bem como a média até e pós agosto de 2023, período onde foram realizados os investimentos.

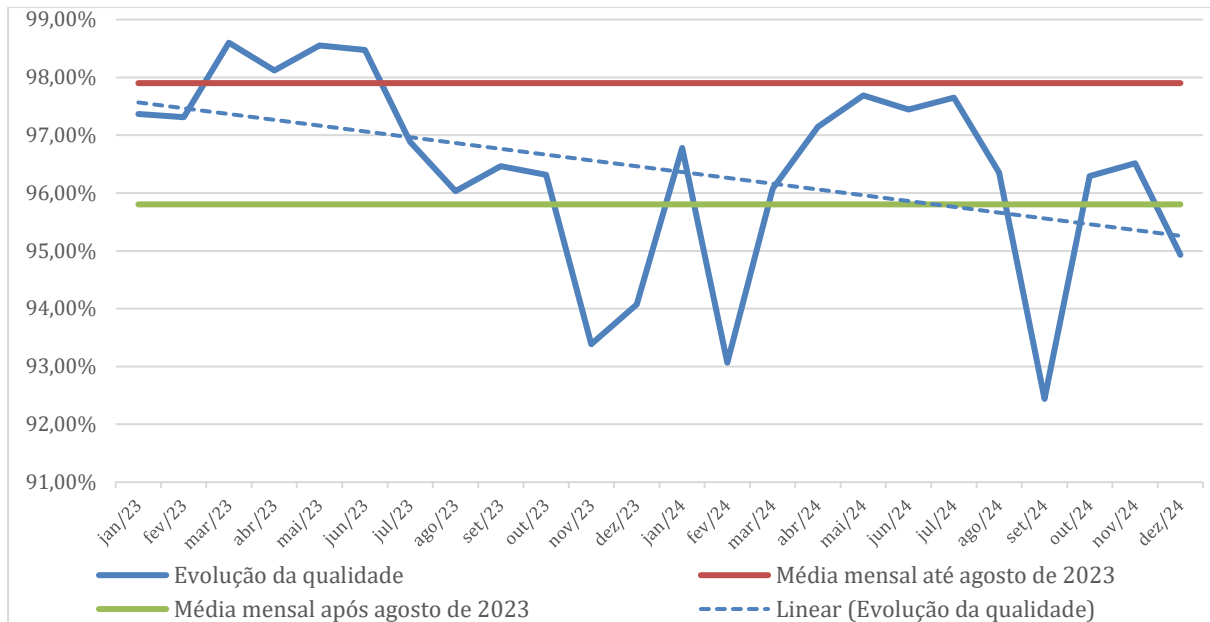


Figura 4.26 – Evolução da qualidade em 2023 e 2024

A Figura 4.26 confirma que a média diária de moldações estragadas teve um aumento significativo após agosto de 2023, representando uma subida de 72% de moldações estragadas por dia. Este acréscimo pode estar relacionado com a introdução do sistema automático de troca de moldes, que permitiu flexibilizar as peças produzidas, mas que, no entanto, implicou novos desafios operacionais. A maior variedade de peças produzidas com diferenças significativas em dimensões, geometrias e especificações técnicas, tornava necessário ajustar os parâmetros de moldação, como a pressão e força de compactação aplicadas nas caixas de moldação.

4.4.7 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Foi feito o cálculo do OEE (Overall Equipment Effectiveness) para os anos de 2023 e 2024, com o objetivo de obter uma visão comparativa da evolução da eficiência da linha de produção. Os resultados obtidos encontram-se ilustrados na Figura 4.27.

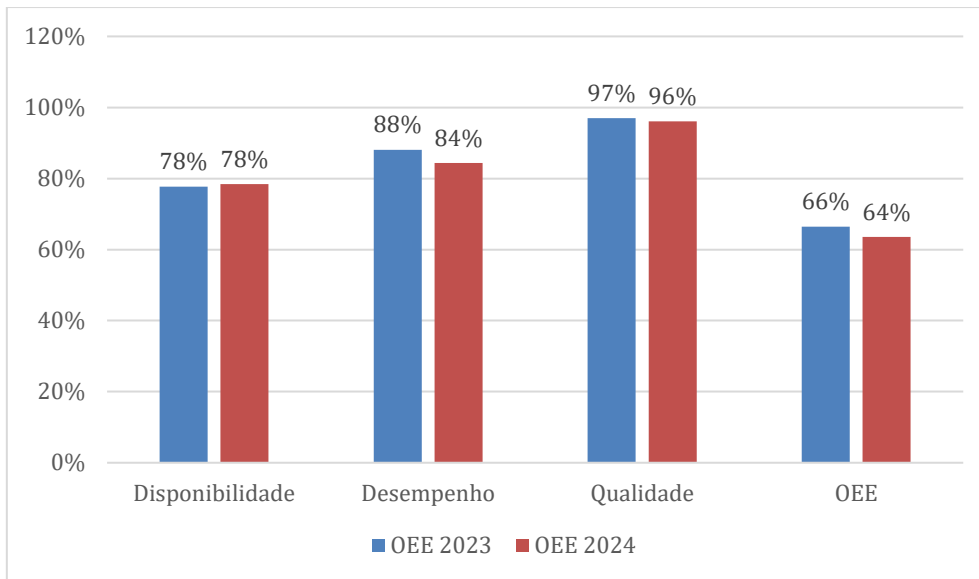


Figura 4.27 - OEE 2023 vs 2024

A disponibilidade e qualidade da linha de produção permaneceram semelhantes, enquanto o desempenho diminuiu consideravelmente, o que resultou na principal causa para a descida do OEE. Isto deve-se ao aumento de micro paragens que podem ter acontecido pela demora a alterar os letreros das placas-molde, já que o sistema automático exigia método de trabalho eficiente. Para além disso, as realizações de ajustes podem ter causado paragens não contabilizadas.

Conclui-se através destas análises que apesar dos investimentos realizados que teoricamente deviam ter aumentado a eficiência da linha de produção, observou-se uma pioria da mesma. Isto sugere, portanto, que os ganhos podem ter sido condicionados e anulados por outros fatores.

Com a implementação do sistema automático de troca de moldes foi possível eliminar uma das principais causas de paragem da linha de produção. De acordo com o número de trocas de molde realizadas em 2023 estima-se que este sistema devia ter permitido poupar cerca de 263 horas ao longo do ano, já que cada troca de molde são aproximadamente 2 minutos.

Assumindo que essas horas teriam sido aproveitadas em condições normais de funcionamento, é plausível convertê-las em capacidade de produção. Com base no tempo médio de moldações por hora, teriam sido cerca de 18.000 moldações adicionadas, o que representaria uma subida de 10% da produção anual.

Apesar deste cálculo ser meramente estimativo do investimento realizado, é útil para quantificar de forma clara o impacto produtivo do investimento na linha de produção, já que se trata de tempo poupado que se devia refletir em produção.

A análise do tempo respetivo às paragens e a análise da produção permite concluir que ao invés do decréscimo na produção, era expectável que aumentasse significativamente, como resultado dos investimentos realizados em agosto de 2023.

Embora o tempo de paragem devido à troca de moldes tenha sido eliminado graças ao sistema automático de troca de moldes, não se observou aumento na produção.

Um dos problemas é produzir por encomenda. Se se estragar uma peça, é preciso colocar novamente a placa molde para produzir a peça em falta, já que não se produz para stock de diversas peças.

4.5 Ações de Manutenção Preventiva Sistemática

Neste capítulo são apresentadas as ações de manutenção preventiva sistemática efetuadas ao longo do estágio. Estas intervenções, executadas de forma regular e programada, procuram preservar o bom funcionamento dos equipamentos, minimizar paragens imprevistas e contribuir para o aumento da eficiência e estabilidade do processo produtivo.

4.5.1 Calibração da sonda de medição de pH

No dia de manutenção preventiva semanal destacou-se a realização desta calibração, considerada essencial por proporcionar uma abordagem prática e simultaneamente reforçar a perceção da importância de uma execução correta e regular deste procedimento. Este equipamento realiza o controlo do pH da amina utilizada na produção de machos, garantindo a estabilidade e eficácia do processo de secagem. A amina é utilizada como catalisador para acelerar o processo de secagem dos machos, promovendo uma secagem rápida e eficiente. Através da monitorização e ajuste automático do pH, através de um ácido, é possível manter a amina dentro de um intervalo ideal de funcionamento. A monitorização semanal realizada durante a manutenção preventiva sistemática de rotina, contribui para a redução de defeitos nos machos aumentando a sua resistência, permitindo que suportem as elevadas temperaturas e pressões associadas ao vazamento do ferro fundido, o que consequentemente melhora significativamente a qualidade final das peças fundidas. Prolonga ainda a vida útil dos equipamentos ao evitar a corrosão e a degradação prematura dos componentes.

Adicionalmente, o controlo rigoroso do pH permite reduzir a libertação de vapores e odores intensos libertados durante a gaseificação da amina, através da utilização de gotejadores aplicados junto aos pontos de aplicação de amina, que pulverizam uma solução ácida responsável por neutralizar os vapores libertados pela amina.

Antes de iniciar o procedimento de calibração é obrigatório o uso de equipamento de proteção individual, nomeadamente óculos de proteção e luvas impermeáveis, uma vez que o produto utilizado para regular o pH possui caráter ácido e pode representar risco em caso de contacto com a pele ou os olhos.

Inicialmente, fecha-se a válvula de alimentação que abastece o sistema de controlo de pH, nomeadamente o copo com o filtro e o copo com a sonda de medição de

pH. De seguida, no painel de controlo da bomba doseadora, desligou-se a bomba doseadora (Figura 4.28).

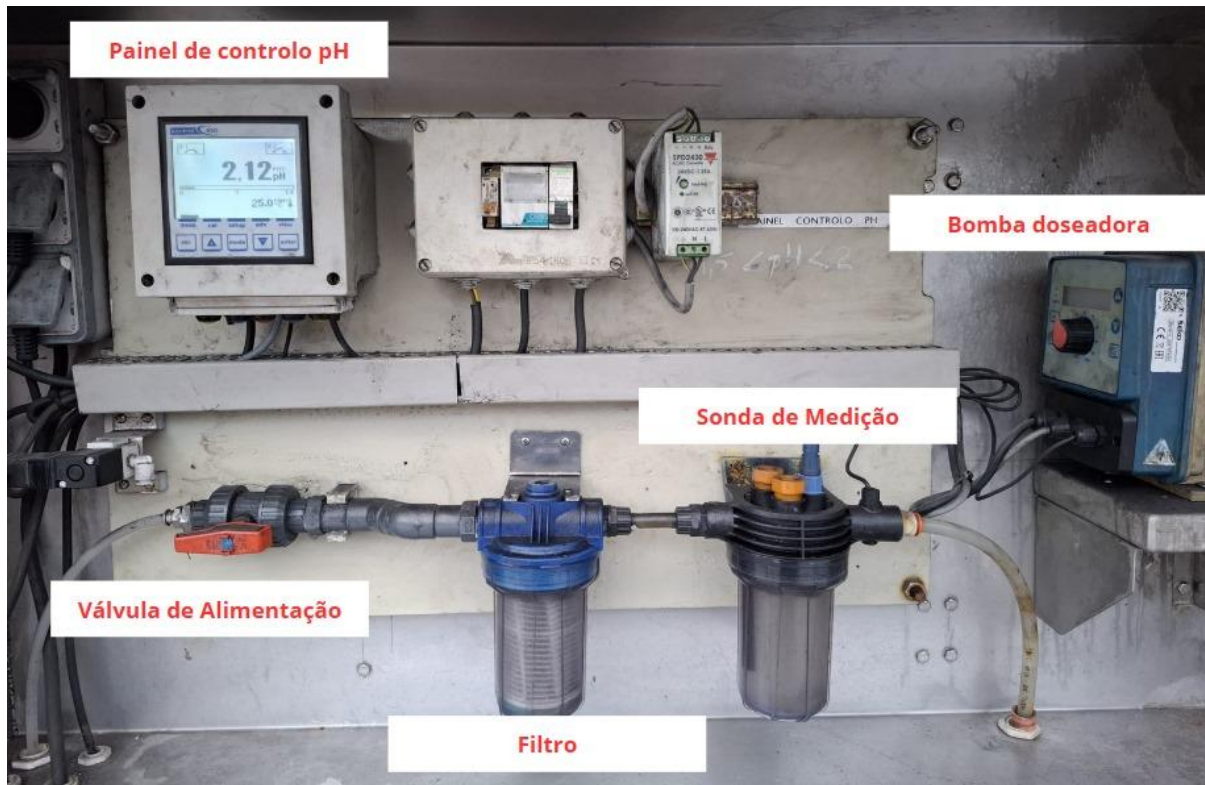


Figura 4.28 - Sistema de controlo de pH

Posteriormente, desapertou-se o copo do filtro (Figura 4.29 a) e procedeu-se à sua lavagem (Figura 4.29 b), uma vez que tende a acumular impurezas provenientes do fluido de alimentação, e a comprometer a precisão da medição e a eficiência do sistema.



Figura 4.29 a) Desmontar copo do filtro b) Lavagem do filtro

Repetiu-se o procedimento no copo que contém a sonda de medição de pH (Figura 4.30 a) com a maior brevidade possível, pelo facto de que a sonda (Figura 4.30 b) não deve permanecer exposta ao ar livre por um longo período, sob risco de comprometer a sua precisão.

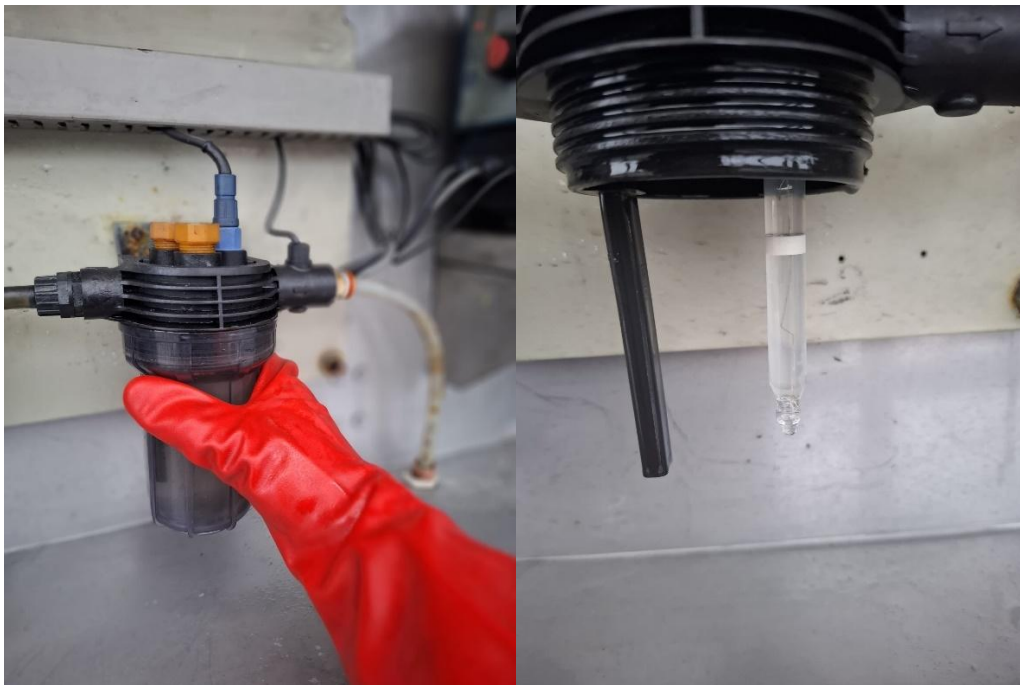


Figura 4.30 – a) Desmontar copo da sonda b) Sonda de medição

No painel de controlo, seleccionou-se o modo de calibração automática e iniciou-se o procedimento utilizando duas soluções padrão: uma com pH 7,0, e outra com pH 4,0, procedimentos recomendados pelo fabricante (Figura 4.31).

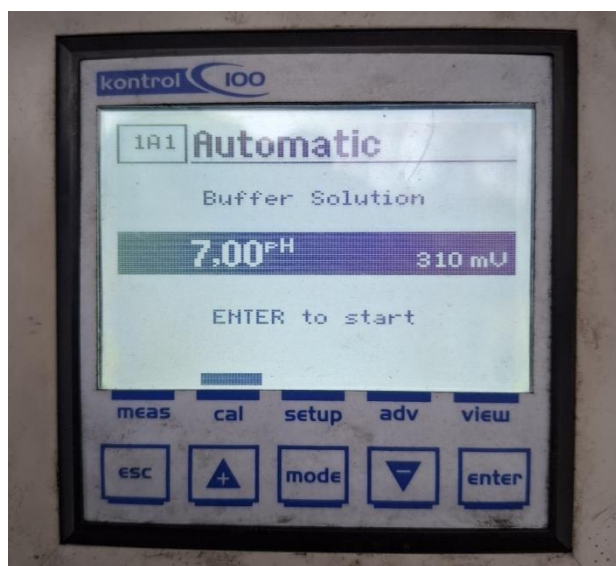


Figura 4.31 - Seleção de calibração automática

No primeiro passo da calibração automática foi necessário inserir a sonda no frasco com a solução de pH 7,0 e deixar o equipamento medir durante um minuto (Figura 4.32). Após isso, limpou-se a sonda com um pano, de modo a retirar o contacto com a solução de pH 7,0 e a evitar contaminações entre as soluções padrão e, de seguida, fez-se o mesmo procedimento para a solução de pH 4,0.



Figura 4.32 - Calibração da sonda de pH

Concluído o processo de calibração, procedeu-se ao aperto do copo da sonda e do copo do filtro, abriu-se a válvula de alimentação, e reativou-se a bomba doseadora no painel de controlo. Posteriormente registou-se a data da calibração no Software (Figura 4.33), e foi feito o registo em papel das percentagens de calibração.

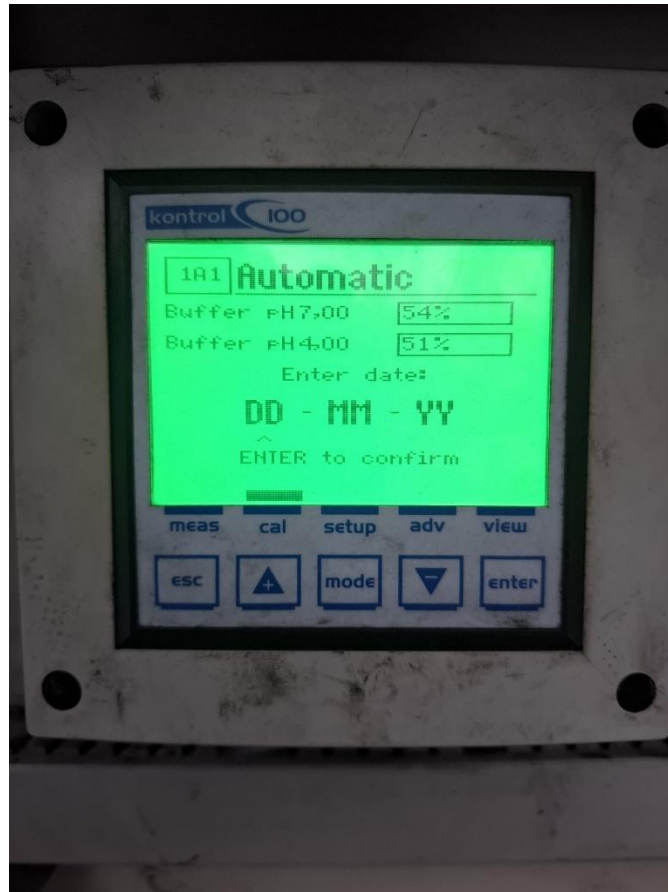


Figura 4.33 - Registo da data da calibração

Imediatamente após a calibração registou-se valores elevados de pH na solução, uma vez que o sistema demora algum tempo até o pH estabilizar em valores dentro do intervalo ideal de funcionamento, compreendido entre 1,5 e 2,0. Após o período de estabilização, o valor de pH estabilizou, conforme ilustrado na Figura 4.34.



Figura 4.34 - Layout sistema de calibração de pH

4.5.2 Rotina da máquina da granalha

Durante o período de estágio participou-se na manutenção preventiva semanal, realizada à segunda-feira, nomeadamente na máquina de granalhagem. Esta manutenção é essencial para garantir o bom funcionamento do equipamento, prolongar a sua vida útil e prevenir paragens inesperadas.



Figura 4.35 - Máquina da granalha

A manutenções semanal consistiam em várias ações programadas, como:

- Substituição dos copos de massa;
- Lubrificação de correntes;
- Verificação de fugas de óleo, ar ou granalha;
- Inspeção visual de componentes sujeitos a desgaste.

A máquina de granalhagem (Figura 4.35) opera sob pressões elevadas especialmente no sistema de envio de resíduos para um silo exterior, onde o material devido à sua pressão elevada provoca desgaste prematuro nos tubos, o que exige uma inspeção mais regular e atenta. Além disso, é realizada a inspeção de peças críticas sujeitas a maior desgaste, como as turbinas, as alhetas das turbinas, mesa vibratória e tampas

de proteção. Quando são detetados sinais de desgaste é realizada a substituição preventiva das peças, evitando falhas que comprometam o funcionamento da máquina.

Este tipo de manutenção de rotina é fundamental para minimizar os tempos de inatividade da máquina e garantir a qualidade das peças granalhadas.

5 CONCLUSÃO

O presente estágio curricular permitiu ter contacto direto com a realidade industrial da Fucoli-Somepal S.A, proporcionando uma compreensão aprofundada da importância estratégica da manutenção e da análise da eficiência produtiva no contexto da gestão de ativos físicos. Ao longo deste estágio foi possível analisar e intervir em diferentes áreas essenciais para o funcionamento da empresa, contribuindo para a melhoria contínua dos processos e para a minha aprendizagem.

A integração na equipa de manutenção permitiu observar de forma detalhada e dinâmica interna de uma unidade industrial, nomeadamente no que diz respeito à gestão da manutenção, utilização de ManWinWin e organização de stocks. A colaboração no registo e controlo das ordens de trabalho revelou-se fundamental para garantir a rastreabilidade das operações e para evidenciar a necessidade de rigor na gestão da manutenção. Para além disso, o desenvolvimento de atividades relacionadas com a gestão de stocks e a reorganização do armazém através da metodologia 5S demonstrou o impacto positivo que práticas simples podem ter na eficiência global e na redução de desperdícios.

A análise da eficiência da linha de produção permitiu identificar perdas significativas associadas ao desempenho, à disponibilidade e à qualidade. A recolha sistemática de dados e a sua análise comparativa entre diferentes períodos possibilitou uma visão clara da evolução do OEE da linha e do impacto de investimentos recentes. A identificação das principais causas de paragem contribuiu para a formulação de propostas de melhoria com potencial para aumentar a produtividade e otimizar recursos.

O estágio revelou-se uma experiência extremamente enriquecedora, permitindo aplicar em contexto real os conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico, enquanto proporcionou novas aprendizagens fundamentais para o exercício profissional na área da engenharia e gestão de ativos físicos. As atividades realizadas contribuíram igualmente para ganhos na organização ao nível da eficiência operacional e da capacidade analítica da equipa de manutenção.

Em síntese, este relatório reforça que a melhoria contínua é um processo constante, que requer uma cultura de disciplina, inovação e trabalho colaborativo para garantir a competitividade e a sustentabilidade da organização.

REFERÊNCIAS

- [1] Fucoli-Somepal, “A nossa história.” Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/sobre-nos/a-nossa-historia>
- [2] Fucoli-Somepal, “Manual de Acolhimento,” 2024.
- [3] Fucoli-Somepal, “Fucoli-Somepal.” Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.fucoli-somepal.pt/#>
- [4] Fucoli-Somepal, “Combate a Incêndios.” Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.fucoli-somepal.pt/PT/produtos/produtos/combate-a-incendio>
- [5] British Standards, *PAS 55:2008 - Asset management*. BSI, 2008.
- [6] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “IEEE Power and Energy Society General Meeting,” Curran Associates, 2011.
- [7] J. Woodhouse, “Briefing: Standards in asset management: PAS 55 to ISO 55000,” *Infrastructure Asset Management*, vol. 1, no. 3, pp. 57–59, Sep. 2014, doi: 10.1680/iasma.14.00013.
- [8] Z. L. Wanxingsheng, “Analysis of The New Asset Management Standard ISO 55000 AND PAS 55,” 2014.
- [9] J. M. T. Farinha, *Asset maintenance engineering methodologies*. CRC Press, 2018. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315232867>.
- [10] International Organization for Standardization, “ISO 55000:2024 - Asset management - Overview, principles and terminology,” 2024.
- [11] International Organization for Standardization, “ISO 55001:2024 - Asset management system - Requirements,” 2024.
- [12] International Organization for Standardization, “ISO 55002:2018 - Asset management - Management systems - Guidelines for application of ISO 55001,” 2018.
- [13] International Organization for Standardization, “ISO/TS 55010:2024 - Asset management - Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management,” 2024.
- [14] International Organization for Standardization, “ISO 55011/FDIS - Asset management - Guidance for the development of public policy to enable asset management,” 2024.
- [15] International Organization for Standardization, “ISO/FDIS 55012:2024 - Asset management - Guidance on people involvement and competence,” 2024.
- [16] International Organization for Standardization, “ISO/FDIS 55013:2024 - Asset management - Guidance on the management of data assets,” 2024.

- [17] F. Monchy and Y. Mirochnikoff, *La fonction maintenance: formation à la gestion de la maintenance industrielle*. in Collection Technologies. Masson, 1991.
- [18] J. M. T. Farinha, *Manutenção das instalações e equipamentos hospitalares: uma abordagem terológica*. Minerva, 1997.
- [19] J. M. T. Farinha, “Uma Abordagem terológica da manutenção dos equipamentos hospitalares,” Ph.D. dissertation Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994. [Online]. Available: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12810/2/Texto%20integral.pdf>
- [20] Instituto Português da Qualidade, “Manutenção - terminologia de manutenção, Norma NP EN 13306:2021,” 2021.
- [21] O. Manchadi, F. E. Ben Bouazza, and B. Jioudi, “Predictive Maintenance in Healthcare System: A Survey,” *IEEE Access*, Oct. 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3287490.
- [22] Maxim Balitki, *Breve abordagem à manutenção preditiva*. 2024.
- [23] J. Moubray, *Reliability-centered maintenance*. Industrial Press Inc., 2001.
- [24] L. R. Higgins and R. K. Mobley, *Maintenance engineering handbook*. 2002.
- [25] R. Smith and R. K. Mobley, *Industrial machinery repair: best maintenance practices pocket guide*. Butterworth-Heinemann, 2003.
- [26] R. Gulati and R. Smith, *Maintenance and reliability best practices*. Industrial Press Inc., 2009.
- [27] S. Vilarinho, I. Lopes, and J. A. Oliveira, “Preventive Maintenance Decisions through Maintenance Optimization Models: A Case Study,” *Procedia Manuf*, vol. 11, pp. 1170–1177, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.241>.
- [28] A. Lewis, “Benchmarking Best Practice in Maintenance Management,” *Benchmarking: An International Journal*, vol. 19, no. 1, pp. 126–127, 2012, doi: <https://doi.org/10.1108/14635771211218407>.
- [29] T. P. Carvalho, F. A. A. M. N. Soares, R. Vita, R. da P. Francisco, J. P. Basto, and S. G. S. Alcalá, “A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance,” *Comput Ind Eng*, vol. 137, p. 106024, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024>.
- [30] M. Pech, J. Vrchota, and J. Bednář, “Predictive maintenance and intelligent sensors in smart factory: Review,” *Sensors*, vol. 21, no. 4, p. 1470, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/s21041470>.
- [31] F. D. Amaral, “Gestão da manutenção na indústria,” *LIDEL, Lisboa*, 2016.
- [32] M. A. Koussaimi, D. Bouami, and S. Elfezazi, “Improvement maintenance implementation based on downtime analysis approach,” *J Qual Maint Eng*, vol. 22, no. 4, pp. 378–393, 2016, doi: <https://doi.org/10.1108/JQME-12-2013-0081>.

- [33] Association française de normalisation, “FD X 60-000:2002 – Maintenance industrielle – Fonction maintenance.”
- [34] L. Li, Y. Wang, and K.-Y. Lin, “Preventive maintenance scheduling optimization based on opportunistic production-maintenance synchronization,” *J Intell Manuf*, vol. 32, no. 2, pp. 545–558, 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01588-9>.
- [35] Instituto Português da Qualidade, “Guia para a implementação do sistema de gestão de manutenção, NP EN 4483:2009,” 2009.
- [36] C. Lundgren, J. Bokrantz, and A. Skoogh, “Performance indicators for measuring the effects of Smart Maintenance,” *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 70, no. 6, pp. 1291–1316, Jun. 2021, doi: [10.1108/IJPPM-03-2019-0129](https://doi.org/10.1108/IJPPM-03-2019-0129).
- [37] M. G. Aboelmaged, “Predicting e-readiness at firm-level: An analysis of technological, organizational and environmental (TOE) effects on e-maintenance readiness in manufacturing firms,” *Int J Inf Manage*, vol. 34, no. 5, pp. 639–651, Oct. 2014, doi: [10.1016/j.ijinfomgt.2014.05.002](https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.05.002).
- [38] P. Jonsson, “Towards an holistic understanding of disruptions in Operations Management,” *Journal of Operations Management*, vol. 18, no. 6, pp. 701–718, Nov. 2000, doi: [10.1016/S0272-6963\(00\)00040-1](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(00)00040-1).
- [39] J. Cenamor, D. Rönnberg Sjödin, and V. Parida, “Adopting a platform approach in servitization: Leveraging the value of digitalization,” *Int J Prod Econ*, vol. 192, pp. 54–65, Oct. 2017, doi: [10.1016/j.ijpe.2016.12.033](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.12.033).
- [40] R. Sundar, A. N. Balaji, and R. M. S. Kumar, “A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques,” *Procedia Eng*, vol. 97, pp. 1875–1885, 2014, doi: [10.1016/j.proeng.2014.12.341](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341).
- [41] Mahmut Tekin, Murat Arslandere, Mehment Etlioğlu, Özdal Koyuncuoğlu, and Ertuğrul Tekin, “An application of SMED and Jidoka in lean production,” in *The International Symposium for Production Research*, 2018.
- [42] A. Ahmed and S. Mathrani, “Critical success factors for a combined lean and ISO 14001 implementation in the manufacturing industry: a systematic literature review,” *The TQM Journal*, vol. 36, no. 7, pp. 2071–2106, Jan. 2024, doi: [10.1108/TQM-12-2022-0347](https://doi.org/10.1108/TQM-12-2022-0347).
- [43] Bicheno, J., & Holweg, M. (2000). *The lean toolbox (Vol. 4)*. Buckingham: PICSIE books.
- [44] E. Mohamad, M. S. Abd Rahman, T. Ito, and A. A. Abd Rahman, “Framework of andon support system in lean cyber-physical system production environment,” in *The Proceedings of Manufacturing Systems Division Conference 2019*, 2019, p. 404. doi: <https://doi.org/10.1299/jsmemsd.2019.404>.
- [45] A. Mayr *et al.*, “Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0,” *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 622–628, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.292>.

- [46] R. J. Everett and A. S. Sohal, "Individual involvement and intervention in quality improvement programmes: using the Andon system," *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 8, no. 2, 1991, doi: <https://doi.org/10.1108/EUM0000000001635>.
- [47] D. Kolberg and D. Zühlke, "Lean automation enabled by industry 4.0 technologies," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 3, pp. 1870–1875, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>.
- [48] P. Hines, M. Holweg, and N. Rich, "Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking," *International journal of operations & production management*, vol. 24, no. 10, pp. 994–1011, 2004, doi: <https://doi.org/10.1108/01443570410558049>.
- [49] L. El Abbadi, S. Elrhanimi, and S. El Manti, "A literature review on the evolution of lean manufacturing," *Journal of System and Management Sciences*, vol. 10, no. 4, pp. 13–30, 2020, doi: <https://doi.org/10.33168/JSMS.2020.0402>.
- [50] M. Apreutesei, I. R. Arvinte, E. Suciu, and D. Munteanu, "Application of kanban system for managing inventory," *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series I-Engineering Sciences*, pp. 161–166, 2010.
- [51] R. A. Esparrago Jr, "Kanban," *Production and Inventory Management Journal*, vol. 29, no. 1, p. 6, 1988.
- [52] J. Singh, R. Vikas, and R. Sharma, "Implementation of 5S practices: A review," *Uncertain Supply Chain Management*, vol. 2, pp. 155–162, Jan. 2014, doi: [10.5267/j.uscm.2014.5.002](https://doi.org/10.5267/j.uscm.2014.5.002).
- [53] N. Kanta Patra, J. K. Tripathy, and B. K. Choudhary, "Implementing the office total productive maintenance ('office TPM') program: a library case study," *Library review*, vol. 54, no. 7, pp. 415–424, 2005, doi: <https://doi.org/10.1108/00242530510611910>.
- [54] E. Mora, "Essential in The Lean Manufacturing Structure. The '5S' Philosophy," 2007.
- [55] E. Sarcoban, "The importance of 5S in total productive maintenance activities and an application of 5S," *Non-Thesis M. Sc. Project, Dokuz Eylül University, Institute of Social Sciences, Izmir, Turkey*, 2006.
- [56] H. T. Celebi, "5S and total productive maintenance with total quality perspective," Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis, Istanbul University, Institute of~ ..., 1997.
- [57] M. L. Kocaalan, "Improving and increasing machine performance loy using total productive maintenance (TPM) approach," M. Sc. Thesis, Gazi University, Institute of Science and Technology, Ankara~ ..., 1999.
- [58] A. Karabulut, "Total productive maintenance management," M. Sc. Thesis, Eskisehir, 1999.



**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra