

# **Estratégia de Melhoria Contínua no Setor Automóvel: Um Estudo Prático na SODECIA**

**Versão Final Após Defesa**

**Mariana Rebelo de Almeida**

Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Gerardo José Osório da Silva  
Co-orientador: Eng. João Paulo de Almeida Pardalejo

**Agosto de 2025**



## Declaração de Integridade

Eu, *Mariana Rebelo de Almeida*, abaixo assino, estudante com o número de inscrição *M13633* do 2º Ciclo de Estudos em *Engenharia e Gestão Industrial* da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridade da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã \_22\_ / \_08\_ / \_2025\_



# **Abstract**

In an increasingly competitive and dynamic industrial environment, organisations are challenged to continuously improve their production processes by reducing waste and increasing efficiency. This work was developed within the scope of a curricular internship at SODECIA Safety & Mobility – SSM Guarda, S.A., and focuses on the application of Kaizen philosophy principles as a continuous improvement tool, specifically targeting the quality inspection process of a technical metal component used in the automotive sector.

Through direct observation on the shop floor and the application of the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle, inefficiencies were identified in the production line, leading to the proposal of a practical solution based on the partial automation of the inspection process using a vision system. The implementation also included the reorganisation of the workstation according to Lean principles, the elimination of waste, and ergonomic improvements.

The results demonstrated significant improvements in productivity, quality, and resource utilisation, reinforcing the importance of continuous improvement as a strategic pillar for industrial competitiveness. The project also contributed to strengthening an organisational culture focused on efficiency, employee involvement, and practical innovation.

## **Keywords**

Lean Manufacturing; Kaizen; Continuous Improvement; Automotive Industry; Waste Elimination.



# Resumo

Num contexto industrial cada vez mais competitivo e dinâmico, as organizações são desafiadas em melhorar continuamente os processos produtivos, reduzindo os desperdícios e aumentando a eficiência. Este trabalho de dissertação surge no âmbito dum estágio curricular realizado na SODECIA *Safety & Mobility* – SSM Guarda, S.A, e centra-se na aplicação dos princípios da filosofia *Kaizen* como ferramenta de melhoria contínua, com foco no processo de inspeção de qualidade dum componente metálico técnico utilizado no setor automóvel.

Através da observação direta no terreno e da aplicação do ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), foi possível identificar ineficiências na linha de produção e propor uma solução prática baseada na automatização parcial da inspeção, através dum sistema de visão artificial. A implementação da solução inclui ainda a reorganização do posto de trabalho segundo os princípios *Lean*, a eliminação de desperdícios, e melhoria da ergonomia do posto de trabalho.

Os resultados obtidos demonstram melhorias significativas ao nível da produtividade, qualidade e utilização de recursos humanos, reforçando a importância da melhoria contínua como pilar estratégico para a competitividade industrial. O trabalho contribuiu também para a consolidação de uma cultura organizacional orientada para a eficiência, o envolvimento dos trabalhadores e a inovação prática.

# Palavras-chave

*Lean Manufacturing; Kaizen; Melhoria Contínua; Indústria Automóvel; Eliminação de Desperdício.*



# Agradecimentos

A realização deste trabalho de dissertação representa o culminar dum percurso académico e pessoal que só foi possível graças ao apoio, orientação e incentivo de várias pessoas e instituições, às quais agradeço profundamente.

Em primeiro lugar, expresso a minha sincera gratidão ao Prof. Doutor Gerardo J. Osório, pela orientação científica rigorosa, pela disponibilidade incansável e pelos conselhos valiosos ao longo de todo o processo. A sua exigência, aliada à confiança depositada, foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

Agradeço também ao Eng. João Paulo Pardalejo e a toda a equipa de produção, da empresa SODECIA *Safety & Mobility* – SSM Guarda, S.A, pela oportunidade de integração e pelo carinhoso acolhimento ao longo do estágio curricular. O seu acompanhamento técnico e a partilha de experiências no terreno foram determinantes para o desenvolvimento prático do projeto.

À Universidade da Beira Interior, e em particular ao Departamento de Engenharia Eletromecânica, agradeço o ensino de excelência, o ambiente de aprendizagem e os valores transmitidos ao longo destes anos, que contribuíram de forma decisiva para o meu crescimento académico, profissional e pessoal.

Por fim, agradeço à minha família, pelo apoio incondicional, incentivo e paciência ao longo de todo o percurso, mesmo nos momentos mais exigentes. Aos amigos de sempre e aos que a UBI me trouxe, agradeço por todos os momentos de vida académica, pelas palavras de motivação, pelas conversas que aliviaram o peso dos dias e por nunca deixarem de acreditar que conseguiria completar esta etapa da minha vida.

A todos, o meu sincero obrigada.



# Índice

Abstract.....	v
Keywords.....	v
Resumo.....	vii
Palavras-chave.....	vii
Agradecimentos.....	ix
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xv
Lista de Abreviaturas.....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização do Trabalho Desenvolvido.....	3
1.2. Motivação.....	3
1.3. Objetivos e Contribuições.....	4
1.4. Caraterização da Empresa.....	6
1.5. Metodologia.....	2
1.6. Estrutura e Organização do Trabalho de Dissertação.....	2
2. Enquadramento Teórico.....	4
2.1. Lean Manufacturing.....	4
2.2. Filosofia Kaizen.....	6
2.3. Aplicação do Kaizen na Indústria Automóvel.....	8
2.4. Ferramentas Lean Complementares ao Kaizen na Indústria Automóvel.....	9
2.5. Kaizen e a Automatização de Processos.....	12
2.6. Indústria 4.0 na Eliminação de Desperdícios e Aumento de Valor: Contributos para a Melhoria Contínua.....	13
2.7. Certificações Existentes na SSM.....	14
2.8. Caraterização do Setor Automóvel em Portugal.....	16
2.9. Processos Produtivos.....	17
2.10. Processo Produtivo do Componente Embout.....	19
3. Materiais e Métodos.....	23
3.1. Contextualização do Problema.....	23
3.2. Objetivos da Intervenção Kaizen.....	25
3.3. Implementação da Solução.....	28
3.3.1. Reorganização do <i>Layout</i> .....	28
3.3.2. Automatização da Inspeção.....	29
3.3.3. Reaproveitamento dos Recursos Técnicos.....	33

3.3.4.	Redefinição da Função do Operador .....	33
3.4.	Aspetos Técnicos da Programação e Automação .....	34
3.4.1.	Estrutura Geral do Sistema.....	34
3.4.2.	Sequência de Inspeção .....	35
3.4.3.	Tomada de Decisão e Classificação da Peça.....	36
3.4.4.	Papel dos Sensores de Posição .....	37
3.4.5.	Interface com o Operador.....	37
4.	Resultados Obtidos.....	39
4.1.	Tempo de Inspeção e Embalamento.....	39
4.2.	Capacidade Produtiva e Gestão de Tempo.....	40
4.3.	Resultados da Implementação da Inspeção Automática e Reforço do Controlo de Qualidade.....	41
4.4.	Avaliação Económica.....	43
4.4.1.	Custos Associados a Processo Anterior .....	43
4.4.2.	Investimento na Solução .....	43
4.4.3.	Benefícios Diretos .....	44
4.4.4.	Benefícios Indiretos.....	44
4.4.5.	Retorno Esperado e Limitações da Avaliação.....	45
5.	Conclusão e Considerações Finais .....	47
5.1.	Principais Conclusões .....	47
5.2.	Limitações do Estudo .....	48
5.3.	Perspetivas de Melhoria Futura.....	48
6.	Bibliografia.....	49

# Lista de Figuras

Figura 1.1 – Diagrama dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	2
Figura 1.2 - Organigrama da SSM.....	1
Figura 2.1 - Princípios Fundamentais do LM.....	5
Figura 2.2 - “Kaizen Umbrella”.....	7
Figura 2.3 - Certificações na SSM.....	15
Figura 2.4 - Fases de Conformação do Embout.....	21
Figura 2.5 - Zonas críticas do Embout.....	21
Figura 2.6 - Gabaritos de Verificação com a peça.....	22
Figura 2.7 - Gabaritos de Verificação sem a peça.....	22
Figura 2.8 - Diagrama do Processo de Conformação do Embout Antes da Intervenção. .....	22
Figura 3.1 - Diagrama de Ishikawa.....	24
Figura 3.2 - Ciclo PDCA.....	27
Figura 3.3 - Diagrama do Processo de Conformação do Embout Após a Intervenção. .	29
Figura 3.4 - Layout da Linha do Embout Antes da Intervenção.....	30
Figura 3.5 - Layout da Linha do Embout Após a Intervenção .....	31
Figura 3.6 - Etapas de Inspeção Automática.....	35
Figura 3.7 - Esquema das Etapas de Inspeção Automática.....	36
Figura 3.8 - Fluxo de classificação das peças OK e NOK.....	36
Figura 4.1 - Tempo Médio por Saco Embalado (Minutos).....	40
Figura 4.2 - Distribuição do Tempo do Operador por Turno (%). .....	42
Figura 4.3 - Comparação Direta de Indicadores Antes vs. Depois.....	44
Figura 4.4 - Comparação dos Indicadores Chave Antes e Depois da Intervenção Kaizen. .....	45
Figura 4.5 - Perfil dos Ganhos do Projeto.....	45



## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Indicadores de Atividade na Indústria Automóvel e Portugal.....	17
Tabela 3.1 - Funcionamento dos sensores de posição. ....	37
Tabela 4.1 - Tipos de Embalagens do <i>Embout</i> .....	39
Tabela 4.3 - Indicadores Comparativos.....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>



# Lista de Abreviaturas

5S	<i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke</i>
BLG	Base do Guia de Lubrificação
CMM	<i>Coordinate Measuring Machine</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> (Planeamento dos Recursos da Empresa)
EUN	Empreendedor da Unidade de Negócios
FBCT	Formação Bruta do Capital Fixo
FDCT	<i>Frontal Dual Clutch Transmission</i>
HMI	<i>Human-Machine Interface</i> (Interface Homem-Máquina)
I4.0	Indústria 4.0
IATF	<i>International Automotive Task</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
JIT	<i>Just-in-Time</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> (Indicador-chave de desempenho)
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
NOK	Designação para peça não conforme
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OK	Designação para peça conforme
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> (Controlador Lógico Programável)
SHE	Segurança, Ambiente e Higiene no Trabalho
SIMG	Sociedade Industrial de Metalurgia da Guarda
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
SPT	Sistema de Produção Toyota
SSM	SODECIA <i>Safety &amp; Mobility</i> , SSM Guarda, S.A.
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WIP	<i>Work in Progress</i>



# 1. Introdução

A evolução dos sistemas produtivos ao longo das últimas décadas tem sido marcada por transformações tecnológicas profundas que procuram melhorar a competitividade, a eficiência e a sustentabilidade das organizações industriais.

Esta conjuntura deu origem ao conceito da Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial. Esta incorpora tecnologias digitais avançadas como a Internet das Coisas (IoT), sistemas ciberfísicos, inteligência artificial, computação em nuvem e análise *big data*, com o objetivo de criar fábricas mais inteligentes, interconectadas e autónomas.

As tecnologias que fomentam a Indústria 4.0 não só otimizam os processos industriais como também promovem uma nova abordagem à sustentabilidade, ao reduzir desperdício, aumentar a rastreabilidade e por permitirem uma produção mais adaptável e particularizada ([Ching et al., 2022](#)).

Paralelamente, cresce a adoção do modelo de economia circular, que propõe um sistema de produção e consumo baseado na regeneração e reaproveitamento de recursos, em contraste com o modelo linear tradicional (extrair-produzir-descartar).

A economia circular foca-se na reutilização, reciclagem, reparação e remanufactura de produtos e materiais, prolongando o seu ciclo de vida e reduzindo a pressão sobre os recursos naturais. A convergência entre os princípios da economia circular e as tecnologias da Indústria 4.0 tem vindo a demonstrar um enorme potencial para transformar os sistemas industriais num modelo mais sustentável e resiliente ([Dantas, et al., 2021](#)).

Esta combinação de abordagens tecnológicas e circulares está particularmente alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) definidos pela Agenda 2030 das Nações Unidas ([ODS, 2025](#)). A integração da economia circular com a Indústria 4.0 contribui de forma significativa para o cumprimento de alguns dos ODS representados na Figura 1.1 entre os quais:

- ODS 7 (Energia Limpa e Acessível),
- ODS 8 (Trabalho Digno e Crescimento Económico),
- ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura),
- ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis),
- ODS 12 (Produção e Consumo Responsáveis),
- ODS 13 (Ação Climática).



Figura 1.1 – Diagrama dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Os ODS no contexto industrial (em especial os ODS 8, 9 e 12) promovem modelos de negócio mais eficientes, reduzem emissões, minimizam desperdícios e geram novas oportunidades de trabalho qualificado (Dantas, *et al.*, 2021). Contudo, apesar dos avanços tecnológicos, a implementação de práticas sustentáveis exige mais do que inovação técnica, é necessário um compromisso organizacional e estratégico contínuo para garantir a sua efetividade.

Neste contexto de transformação e responsabilidade ambiental, destaca-se a filosofia de *Kaizen*, um conceito que se baseia na ideia de que as mudanças incrementais e constantes nos processos, podem gerar grandes benefícios ao longo do tempo (Díaz-Reza, *et al.*, 2024).

Tradicionalmente associados à melhoria da qualidade e da eficiência nas linhas de produção, o *Kaizen* tem ganho um novo significado quando aplicado em conjunto com ferramentas digitais da Indústria 4.0. A monitorização em tempo real, os sistemas de apoio à decisão baseados em dados e a automação inteligente, permitem que as melhorias sejam identificadas e implementadas de forma mais rápida e precisa, reforçando a cultura de melhoria contínua com base em evidência objetiva (Ching, *et al.*, 2022).

Além disso, o *Kaizen* contribui para os objetivos da economia circular, ao incrementar a eliminação sistemática de desperdícios e o redesenho de processos para maximizar a utilização de recursos (Ciliberto, *et al.*, 2021). No âmbito dos ODS, a filosofia *Kaizen* apoia o desenvolvimento de ambientes de trabalho mais colaborativos e eficientes, estimulando práticas produtivas mais sustentáveis a nível económico, social e ambiental. Desta forma, a integração do *Kaizen* em ambientes industriais digitais e circulares representa um caminho estratégico para empresas que pretendem evoluir não apenas em termos de desempenho, mas também de impacto positivo no planeta e na sociedade .

## **1.1. Contextualização do Trabalho Desenvolvido**

A presente trabalho de dissertação surge no âmbito do Estágio Curricular realizado na empresa SODECIA *Safety & Mobility* – SSM Guarda, S.A. (SODECIA, 2025), (ora diante designada neste documento somente como SSM) integrado no 2º Ciclo de Estudos em Engenharia e Gestão Industrial. O Estágio Curricular decorreu no Departamento da Produção da empresa, área estratégica na transformação de componentes técnicos para a indústria automóvel.

O trabalho desenvolvido insere-se na realidade operacional da SSM, empresa do setor metalomecânico com forte presença na indústria automóvel, especializada na produção de componentes técnicos de precisão. A SSM, opera num ambiente de elevada exigência, com foco na eficiência, qualidade e cumprimento rigoroso dos requisitos dos clientes.

No decurso do Estágio Curricular, identificou-se uma oportunidade de melhoria numa linha de produção responsável pela conformação de tubos metálicos aplicados em sistemas de lubrificação de motores de combustão. Apesar da simplicidade aparente, o processo produtivo apresentava limitações ao nível da eficiência, necessitando a alocação contínua de um operador à fase de inspeção, o que reduzia a fluidez da produção, aumentava o desperdício, e limitava a capacidade de resposta da linha.

Neste contexto, foi proposto um projeto *Kaizen* com foco na automatização da inspeção de qualidade, de forma a libertar o operador para funções de maior valor e tornar o processo mais ágil e eficiente. A iniciativa enquadra-se numa lógica de melhoria contínua, alinhada com os princípios do *Lean Manufacturing* (LM) e com a estratégia da empresa de reforço da competitividade através da inovação nos processos produtivos (Azamfirei, et al., 2023).

## **1.2. Motivação**

Num contexto industrial cada vez mais exigente e competitivo, marcado pela necessidade constante de melhorar a eficiência, reduzir os desperdícios e aumentar a qualidade, torna-se essencial adotar abordagens que promovam a excelência operacional de forma sustentável. A presente dissertação surge, precisamente, da vontade de explorar uma destas abordagens, a filosofia *Kaizen*, aplicada a um ambiente real da indústria automóvel.

Durante o Estágio Curricular realizado na SSM, identificou-se uma oportunidade concreta de melhoria numa linha de produção que, apesar da sua aparente simplicidade, apresentava ineficiências significativas ao nível da inspeção de qualidade. Esta constatação despertou algum interesse em aplicar os princípios do *Kaizen* numa perspetiva prática, capaz de gerar impacto imediato.

A motivação para o desenvolvimento deste projeto baseia-se, assim, na vontade de contribuir ativamente para a otimização de processos industriais, ligando o conhecimento académico à realidade empresarial. Procurou-se desenvolver uma solução que respondesse a um problema operacional específico, mas que servisse como modelo replicável para outras áreas da fábrica, potenciando uma cultura de melhoria contínua.

Ao longo do trabalho, tornou-se evidente que a verdadeira força do *Kaizen* não reside apenas nas ferramentas que propõe, mas sim na mudança de mentalidade que induz. A implementação de pequenas melhorias diárias, assentes no envolvimento dos operadores, na simplicidade das soluções e na observação direta do processo, constitui um caminho viável e eficaz para reforçar a competitividade das organizações.

Neste sentido, o projeto apresentado pretende demonstrar que é possível, mesmo com recursos limitados, alcançar ganhos relevantes em produtividade, qualidade e ergonomia, contribuindo simultaneamente para o desenvolvimento das pessoas e da organização. Esta motivação foi reforçada pela consistência de que, numa era cada vez mais marcada pela digitalização, é fundamental encontrar o equilíbrio entre a automatização dos processos e a valorização do trabalho humano. O desafio passou, então, por integrar soluções tecnológicas acessíveis com os princípios do LM, mantendo como foco central a criação de valor contínuo.

### **1.3. Objetivos e Contribuições**

O principal objetivo deste trabalho é a implementação de uma solução de melhoria contínua, assente nos princípios da filosofia *Kaizen*, aplicada ao processo de inspeção de qualidade numa linha de produção da unidade industrial SSM, pertencente ao grupo SODECIA. A intervenção incide sobre o fabrico de um componente metálico, o *Embout*, utilizado em sistemas de lubrificação de motores automóveis. O foco do projeto é a automatização parcial do processo de inspeção, com o intuito de aumentar a eficiência operacional, reduzir desperdícios e promover uma melhor alocação dos recursos humanos.

A abordagem adotada baseia-se numa lógica de melhoria contínua incremental, inspirada nos fundamentos do LM, mais concretamente nos ciclos *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) e no envolvimento direto das equipas no chão de fábrica. Esta estratégia procura não apenas resolver uma limitação operacional concreta, mas também fomentar uma cultura organizacional mais participativa e orientada para a excelência contínua. De forma mais detalhada, os objetivos específicos do projeto são os seguintes:

- Automatizar o processo de inspeção de qualidade na saída da prensa, recorrendo a um sistema de visão artificial que permitia a deteção fiável de não conformidades, reduzindo a carga física e cognitiva associada à inspeção manual.
- Libertar o operador anteriormente dedicado à inspeção visual, possibilitando a sua alocação a tarefas de maior valor acrescentado e promovendo a polivalência funcional.
- Reduzir os tempos de ciclo e os desperdícios associados a tempos de espera, transporte desnecessário e manuseamentos repetitivos, otimizando o fluxo da linha.
- Melhorar a ergonomia e a organização do posto de trabalho, com base em princípios de layout, gestão visual e aplicação prática do sistema 5S (*Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke*).
- Promover a aplicação prática de conceitos *Lean*, nomeadamente o *Kaizen*, *Poka-Yoke* e *Standard Work*, reforçando a cultura de melhoria contínua na organização.
- Validar a viabilidade da solução implementada, através da análise dos resultados operacionais obtidos e da sua compatibilidade com o ambiente real de uma linha produtiva automóvel.

Nos contributos do trabalho realizado, este relatório oferece valor em várias dimensões:

1. Demonstra a aplicabilidade concreta de soluções, de baixo custo, e elevada eficácia no contexto da indústria automóvel, utilizando tecnologias acessíveis de inspeção e automação adaptadas à realidade fabril.
2. Estrutura uma intervenção baseada no ciclo PDCA, com fundamentação teórica consolidada, articulando práticas *Lean* com observações de terreno, o que confere validade prática e académica à abordagem.
3. Gera impacto direto na operação da SSM, ao melhorar o desempenho da linha analisada, reduzir o esforço dos operadores e criar um ambiente mais eficiente, limpo e seguro, conforme os princípios da melhoria contínua.

4. Constitui uma experiência formativa significativa ao permitir a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico em um problema real de engenharia e gestão industrial, promovendo a capacidade crítica e de decisão.

Este Trabalho de Dissertação propõe em contexto real a aplicação prática dos princípios do *Kaizen*, aliada às oportunidades proporcionadas pelas tecnologias da Indústria 4.0, que permita contribuir para o aumento da eficiência produtiva, a redução de desperdícios e a melhoria da qualidade, alinhando-se com os pilares fundamentais da sustentabilidade e da economia circular.

#### **1.4. Caraterização da Empresa**

O Estágio Curricular foi realizado na SSM, uma unidade que pertence ao Grupo SODECIA. Este grupo multinacional de origem portuguesa foi fundado em 1980, tendo iniciado a sua atividade na cidade de Matosinhos e estabelecido atualmente a sua sede na Maia. Com um posicionamento consolidado no setor automóvel, a SSM atua como fornecedor *full service* para os principais fabricantes mundiais da indústria automóvel, com foco nas áreas de chassis, *powertrain*<sup>1</sup> e *body-in-white*<sup>2</sup> (SODECIA, 2025).

A estrutura do grupo está presente numa rede global de unidades industriais, centros de engenharia e laboratórios de desenvolvimento tecnológico estrategicamente localizados em quatro continentes: Europa, América, África e Ásia-Pacífico. Este posicionamento geográfico permite à organização oferecer soluções técnicas integradas, com elevada capacidade de resposta, proximidade ao cliente e forte aposta na inovação.

A missão do grupo SODECIA consiste em criar valor para os seus clientes através de soluções de engenharia e fabrico de excelência, promovendo simultaneamente a competitividade e a sustentabilidade. Com o lema “*adding value to our customers*”, orientando-se por valores de excelência, responsabilidade individual, criatividade, motivação, foco no cliente e compromisso com a melhoria contínua.

A SSM, onde decorreu o Estágio Curricular, teve origem na Sociedade Industrial de Metalurgia da Guarda (SIMG), fundada em 1988. Em 2001, na sequência da sua integração no Grupo SODECIA, passou a assumir a atual designação.

---

<sup>1</sup> *Powertrain* refere-se ao conjunto de componentes responsáveis por gerir e transferir a potência mecânica do veículo (motor, transmissão, eixo de transmissão e diferencial).

<sup>2</sup> *Body-in-white* refere-se à estrutura metálica do veículo antes da aplicação de pintura e da instalação de componentes móveis e interiores.

Com cerca de 240 colaboradores e uma área total de 17.200 m<sup>2</sup> (dos quais 8.200 m<sup>2</sup> são destinados à produção), esta unidade representa uma componente essencial da estratégia do grupo em Portugal, aliando tradição metalúrgica à modernização tecnológica.

Localizada na zona industrial da cidade da Guarda, a SSM apresenta vantagens logísticas significativas, sobretudo no acesso a mercados internacionais via Espanha. A unidade é especializada na produção de subconjuntos soldados, peças estampadas e componentes técnicos de elevada precisão. Entre os principais produtos fabricados destacam-se estruturas metálicas, sistemas de lubrificação para motores e componentes destinados para as transmissões automáticas. Estes produtos são fornecidos para marcas de referência do setor automóvel como a Renault, Daimler-Mercedes e Volkswagen.

Para além da vertente produtiva, a SSM tem vindo a desenvolver práticas orientadas para a sustentabilidade, inovação organizacional e excelência operacional, refletindo os valores centrais do grupo. Um dos exemplos realizou-se em 2017, quando foi anunciado um investimento significativo para a expansão da unidade, com o objetivo de aumentar a capacidade produtiva e criar postos de trabalho na região (SODECIA, 2025).

O ambiente industrial da unidade caracteriza-se por uma forte aposta na engenharia de processos, na eficiência produtiva e na implementação de metodologias *Lean*, como é o caso da ferramenta *Kaizen*, 5S, SMED (*Single Minute Exchange of Die*), e TPM (*Total Productive Maintenance*), que constituem um suporte essencial para a melhoria contínua e a competitividade do setor.

A estrutura organizacional da SSM está desenhada de forma a suportar a sua estratégia eficiente, inovação tecnológica e compromisso com a qualidade. Inserida num grupo multinacional com presença global, a unidade localizada na cidade da Guarda adota uma estrutura organizacional funcional, claramente definida por áreas de especialização, o que permite uma gestão eficaz dos recursos, maior controlo sobre os processos e maior clareza na cadeia de comando.

Na Figura 1.2, mostra-se o organograma da empresa, caracterizado pelo topo da hierarquia afeito à Direção Geral, também designado como Empreendedor da Unidade de Negócios (EUN), responsável pela supervisão estratégica e operacional da fábrica, garantindo o alinhamento com os objetivos corporativos definidos pelo Grupo SODECIA. A Direção Geral articula-se com vários departamentos operacionais e de suporte, cada um com funções específicas, e autonomia relativa para a gestão das suas atividades. Dentre os principais departamentos destacam-se:

- *Departamento da Produção*, onde decorreu o Estágio Curricular, sendo responsável para execução das ordens de fabrico, alocação de recursos humanos e materiais, monitorização dos indicadores de produtividade e implementação de iniciativas de melhoria contínua, como projetos *Kaizen*.
- *Departamento de Qualidade*, o qual assegura o cumprimento dos padrões técnicos exigidos pelos clientes e pelas normas internacionais, coordenando processos de inspeção, auditorias internas e externas, gestão de não conformidades e implementação de planos de ação corretiva.
- *Departamento de Engenharia*, responsável pelo desenvolvimento e otimização de processos, integração de novos produtos e apoio técnico à produção, incluindo o planeamento de layouts, definição de ciclos de trabalho e estudos de tempos e métodos.
- *Departamento de Logística*, responsável pelo aprovisionamento de materiais, armazenamento, expedição e interface com clientes e fornecedores, com foco na minimização de desperdícios e garantia de fluidez dos fluxos produtivos.
- *Departamento de Manutenção*, responsável por garantir a disponibilidade técnica dos equipamentos produtivos, através de planos de manutenção preventiva, corretiva e preditiva, assegurando a continuidade operacional.
- *Departamento de Recursos Humanos*, que gere o recrutamento, formação, avaliação de desempenho e políticas de desenvolvimento dos colaboradores, promovendo uma cultura de envolvimento e valorização profissional.
- *Departamento de Segurança, Ambiente e Higiene no Trabalho (SHE)*, como a missão de garantir a conformidade legal, prevenção de acidentes e gestão ambiental, alinhando a atividade produtiva com os princípios da sustentabilidade.

Adicionalmente, a unidade dispõe de áreas de suporte como Controlo de Gestão, Compras, Tecnologias de Informação Financeira que contribuem para o bom funcionamento organizacional e o cumprimento das metas estratégicas.

Esta estrutura coesa e colaborativa permite à SSM responder de forma ágil às exigências do setor automóvel, assegurando elevados padrões de qualidade, competitividade e inovação. A coordenação interdepartamental é reforçada por práticas de comunicação eficaz e por uma cultura corporativa centrada na melhoria contínua, responsabilidade individual e foco no cliente.

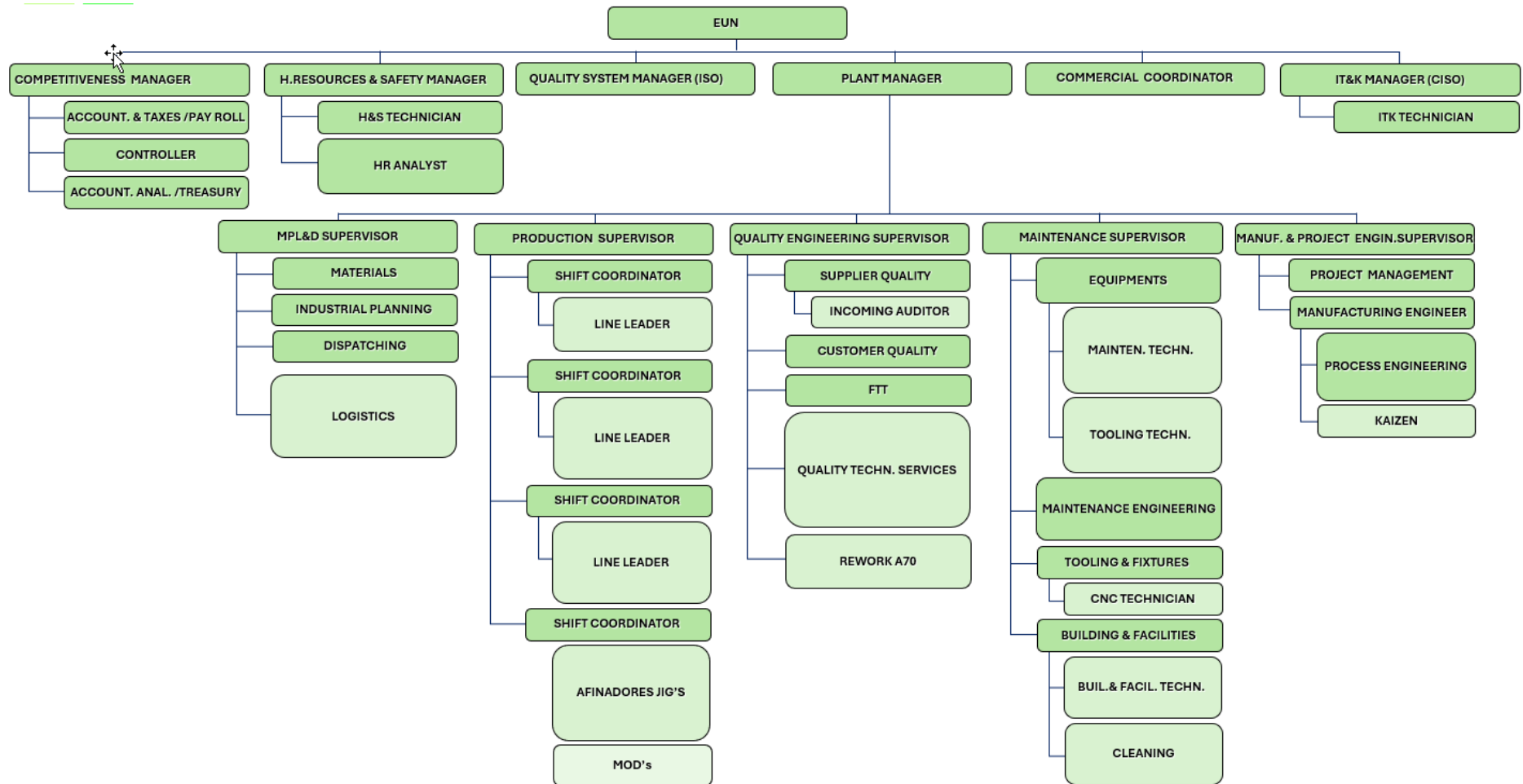


Figura 1.2 - Organigrama da SSM.

## **1.5. Metodologia**

A metodologia adotada neste trabalho assentou numa abordagem que combina investigação teórica com o trabalho e investigação desenvolvidos no ambiente industrial. A componente teórica baseou-se numa revisão de literatura científica sobre os princípios e ferramentas *Lean*, com destaque para o *Kaizen* e a sua aplicação na indústria automóvel. Para tal, recorreu-se a bases de dados académicos como o *ScienceDirect*, *Scopus* e *IEEEExplore*, privilegiando fontes recentes e de referência no domínio da engenharia industrial.

Paralelamente, a caracterização da empresa e da linha de produção em estudo foi realizada através de observações diretas no local, reuniões com responsáveis do Departamento de Produção e outros departamentos, e de interações informais com os operadores. A abordagem interativa permitiu identificar com precisão os pontos críticos do processo, assim como compreender o funcionamento real da linha e o papel desempenhado pelos recursos humanos existentes.

Adicionalmente, foi disponibilizado o acesso a documentação técnica e interna da empresa, nomeadamente planos de produção, registos de qualidade, fluxogramas operacionais, os quais foram essenciais para mapear o fluxo de trabalho e fundamentar a proposta de melhoria.

A combinação entre análise documental, observação no terreno e investigação teórica possibilitou uma compreensão aprofundada do contexto, garantindo uma base sólida para a definição e implementação de soluções ajustadas à realidade da organização.

## **1.6. Estrutura e Organização do Trabalho de Dissertação**

Esta dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, organizados de forma a assegurar uma progressão lógica e coerente entre a funcionalidade teórica, a contextualização prática e os resultados obtidos no âmbito do estágio curricular.

No Capítulo 1 expõe-se ao enquadramento geral do trabalho, apresentando-se a introdução ao tema, a motivação que estava na origem do projeto, os objetivos a alcançar, o contexto empresarial onde foi realizado o Estágio Curricular, e a metodologia adotada para a realização da investigação.

O Capítulo 2 corresponde ao enquadramento teórico, onde são revistos os principais conceitos e metodologias relacionados com a melhoria contínua, nomeadamente os fundamentos do LM, a filosofia *Kaizen* e algumas ferramentas complementares aplicadas ao setor automóvel. É abordada também a integração das tecnologias da Indústria 4.0 e os contributos da automatização para os princípios *Lean*.

O Capítulo 3 apresenta a contextualização prática do problema identificado na linha de produção do componente *Embout*, descrevendo com detalhe o processo produtivo em causa, as limitações observadas e a análise inicial que fundamentou a proposta de intervenção.

O Capítulo 4 detalha a intervenção de melhoria proposta, estruturada segundo a metodologia *Kaizen* e aplicada com base no ciclo PDCA. São apresentadas as ações implementadas, a reorganização do layout fabril, a automatização do processo de inspeção e os princípios *Lean* subjacentes às decisões tomadas.

O Capítulo 5 é dedicado à análise dos resultados obtidos, com base em indicadores de desempenho antes e após a intervenção. Avaliam-se os ganhos em eficiência, ergonomia, qualidade e reaproveitamento de recursos, sendo também discutida a replicabilidade da solução implementada para modelos de monitorização em tempo real.

No que diz respeito à organização técnica do documento, esta dissertação segue as normas da escrita académica em língua portuguesa, adotando a mesma notação utilizada na literatura científica. As figuras e tabelas estão numeradas sequencialmente dentro de cada capítulo, sendo identificadas como Figura (x.y) ou Tabela (x.y), onde “x” representa o número do capítulo e “y” a ordem da figura ou tabela nesse capítulo, reiniciando as respetivas numerações com o iniciar dum novo capítulo.

As referências bibliográficas estão organizadas segundo o formato autor-data ([Apelido, ano](#)), assegurando a rastreabilidade das fontes consultadas. As abreviaturas utilizadas ao longo do trabalho estão reunidas numa lista própria apresentada na Seção de Abreviaturas, e seguem a notação técnica padronizada, de acordo com a terminologia mais comum na área da engenharia e gestão industrial.

Esta estrutura proporciona uma leitura clara, lógica e fundamentada, articulando os conhecimentos adquiridos com a prática num ambiente industrial real, em linha com os objetivos do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial ministrado pela Universidade da Beira Interior.

## 2. Enquadramento Teórico

Neste capítulo, apresentam-se os principais conceitos e abordagens teóricas que sustentam a presente investigação e trabalho realizado durante o Estágio Curricular, com ênfase nas metodologias de melhoria contínua aplicadas ao contexto industrial, particularmente na indústria automóvel. Este enquadramento permite compreender a forma como estas abordagens contribuem para a eliminação de desperdícios, o aumento da eficiência e a criação de valor sustentável nas organizações.

### 2.1. *Lean Manufacturing*

O *Lean Manufacturing* (LM), também conhecido como Sistema de Produção Toyota (SPT), emergiu no Japão depois de ocorrer a Segunda Guerra Mundial, tendo sido concebido com o intuito de maximizar o valor para o cliente através da eliminação sistemática de desperdícios. Esta filosofia de gestão foca-se na eficiência dos processos produtivos, promovendo a redução de custos, o aumento da qualidade e a flexibilidade operacional, sendo hoje amplamente aplicada em diversos setores industriais, como automóvel, têxtil, alimentar e eletrónico (Palange, Dhattrak, 2021).

Segundo os princípios fundamentais do LM as organizações devem concentrar-se em cinco eixos essenciais, representados na Figura 2.1. Estes princípios têm como objetivo eliminar atividades que não agregam valor ao produto final, os denominados “*muda*”, como excesso de produção, tempos de espera, transporte desnecessário, inventários elevados, movimentos excessivos, defeitos e sobre processamento (Gebeyehu, *et al.*, 2022).

A implementação do *Lean* em ambientes industriais, como o automóvel, depende dum conjunto de ferramentas e metodologias práticas, entre as quais se destacam o 5S (*Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke*), *Kaizen*, *Single Minute Exchange of Die* (SMED), *Poka-Yoke*, *Just-in-Time* (JIT), *Value Stream Mapping* (VSM), *Kanban*, *Jidoka*, o uso de círculos de qualidade, entre outros. A aplicação do *Lean* procura não apenas a melhoria contínua dos processos, mas também a padronização de processos, redução de tempos de ciclo, aumento da qualidade e a otimização dos recursos, promovendo um ambiente de trabalho mais limpo, organizado e eficiente (Ikumapayi, *et al.*, 2019), (Palange, Dhattrak, 2021).

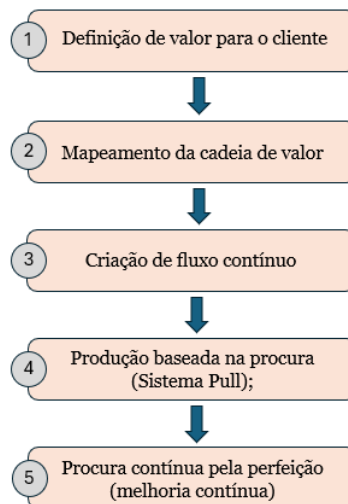


Figura 2.1 - Princípios Fundamentais do LM.

A crescente complexidade dos sistemas produtivos modernos levou à combinação do LM com os princípios da Indústria 4.0, originando sinergias valiosas. As empresas que integram ferramentas digitais como sensores inteligentes, *big data* e automação com práticas *Lean* conseguem não apenas melhorar o desempenho operacional, como também reforçar a capacidade de tomar decisões em tempo real, otimizando o fluxo produtivo e antecipando falhas (Marinelli, *et al.*, 2021).

No entanto, os benefícios do LM só são plenamente alcançados quando existe um forte compromisso da liderança e uma cultura organizacional aberta à mudança. A resistência por parte dos trabalhadores e a dificuldade em alterar hábitos enraizados são apontadas como barreiras frequentes. Para ultrapassar esses desafios é essencial investir na formação, promover a comunicação horizontal e garantir o alinhamento entre os objetivos estratégicos da organização e as práticas de melhoria contínua (Bortolotti, *et al.*, 2015), (Palange, Dhattrak, 2021).

Assim, o LM permanece como uma abordagem robusta e atual, crucial para sustentar a competitividade industrial em mercados cada vez mais exigentes, como é o caso da indústria automóvel, onde a eliminação de desperdícios, a rapidez e a qualidade são fatores determinantes para o sucesso (Palange, Dhattrak, 2021).

## 2.2. Filosofia Kaizen

A filosofia *Kaizen*, originária no Japão, representa uma abordagem de melhoria contínua que tem como base o envolvimento de todos os membros da organização na procura por pequenas e sucessivas melhorias nos processos, produtos e ambiente de trabalho que, a longo do tempo, produzem impactos significativos. O termo deriva da junção de duas palavras japonesas *Kai* (mudança) e *Zen* (melhoria) (Chotaliya, Mehta, 2022). Introduzida na Toyota por Masaaki Imai na década de 1980, esta filosofia consolidou-se como um dos pilares fundamentais do SPT (Farris, et al., 2009).

Mais do que um conjunto de técnicas, representa uma cultura organizacional focada na resolução de problemas, no envolvimento dos trabalhadores e na eliminação de desperdício (Liker, 2006). Segundo (Singh, Singh, 2009) a filosofia *Kaizen* assenta em três ideias-chave, ou a regra “3E”:

- Pode ser aplicado em qualquer lugar (*Everywhere*).
- Deve envolver todas as pessoas na organização (*Everybody*).
- Deve ser praticado todos os dias (*Everyday*).

Estes princípios garantem que a melhoria contínua não depende exclusivamente de grandes projetos, mas sim de uma disciplina constante enraizada no quotidiano das equipas operacionais (Singh, Singh, 2009), (Farris, et al., 2009).

A filosofia *Kaizen* distingue-se por ser uma prática sistemática, orientada para o processo, onde cada colaborador é incentivado a propor melhorias com base na sua experiência direta no posto de trabalho. Este envolvimento promove uma cultura de aprendizagem contínua, reforça o moral da equipa, e gera sentimento de propriedade em relação aos resultados (Singh, Singh, 2009), (Mostafa, Dumrak, 2015). Entre as ferramentas e metodologias mais comuns associadas à filosofia *Kaizen* destacam-se:

- Ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*): ferramenta fundamental para garantir que as melhorias são planeadas, testadas, avaliadas e padronizadas.
- 5S: metodologia de organização do espaço de trabalho, promovendo eficiência, segurança e qualidade.
- *Poka-Yoke*: sistemas à prova de erro que evitam falhas humanas.

- *Gemba*: conceito que defende que os gestores devem estar presentes no local onde o valor é gerado, o “*chão de fábrica*”, para compreender verdadeiramente os problemas.

O “*Kaizen Umbrella*”, representado na Figura 2.2, integra várias destas ferramentas sob uma filosofia única, com o objetivo de eliminar os “3M” do processo produtivo: *Muda* (desperdício), *Mura* (variação) e *Muri* (sobrecarga). A implementação eficaz e diária da filosofia *Kaizen*, especialmente no chão de fábrica, pode ser estruturada através de rituais simples como reuniões rápidas de equipa, uso de quadros visuais e curtas metas (Falana, *et al.*, 2022).

Esta abordagem promove o alinhamento das equipas, acelera a identificação de problemas, estimula a proatividade e contribui diretamente para a melhoria da produtividade, redução de custos operacionais, aumento da qualidade e maior envolvimento dos trabalhadores (Singh, Singh, 2009), (Mostafa, Dumrak, 2015).

Os benefícios da filosofia *Kaizen* podem ser divididos em quantitativos e qualitativos. Os primeiros incluem a redução de custos, de tempos de ciclo, de inventário e de retrabalho. Já os qualitativos referem-se à melhoria de ambiente de trabalho, ao aumento da motivação e do comprometimento dos colaboradores, e à criação de um clima organizacional orientado para a excelência (Singh, Singh, 2009).

Contudo, o sucesso da filosofia *Kaizen* depende de fatores estruturais e culturais, como o compromisso da liderança, a formação contínua e a criação de um ambiente onde o erro é visto como oportunidade de aprendizagem. A aplicação isolada de ferramentas, sem esta base cultural, tende a gerar resultados limitados e pouco sustentáveis (Liker, 2006).

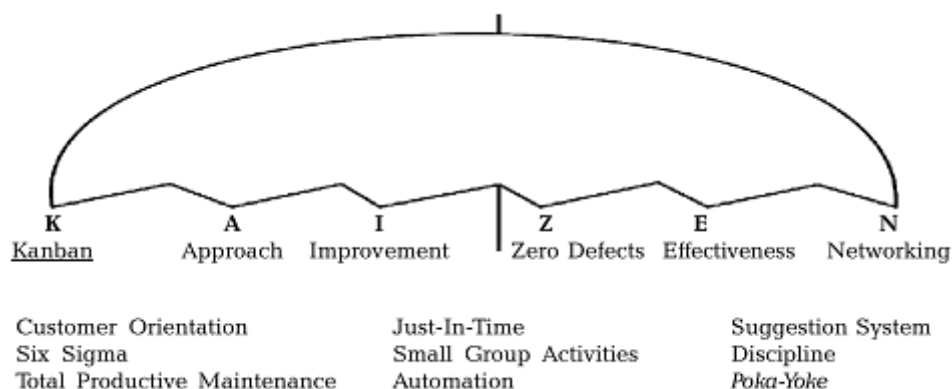


Figura 2.2 - “*Kaizen Umbrella*”.

Por outras palavras, o *Kaizen* constitui um dos alicerces da melhoria contínua nas organizações industriais modernas, revelando-se particularmente eficaz em ambientes de elevada exigência como a indústria automóvel. A essência desta ferramenta reside não apenas na obtenção de resultados imediatos, mas sobretudo na criação duma cultura sólida de excelência operacional, transformando o quotidiano das organizações num processo contínuo de evolução (Falana, *et al.*, 2022).

### **2.3. Aplicação do Kaizen na Indústria Automóvel**

A indústria automóvel, devido à natureza exigente na produtividade, qualidade e eficiência, tem sido o terreno ideal para a aplicação das práticas *Lean*, com especial destaque para o *Kaizen*, filosofia de melhoria contínua. A Toyota, onde o conceito foi formalizado, tornou-se o maior exemplo de como pequenas melhorias diárias podem gerar resultados transformadores na competitividade e sustentabilidade das organizações (Liker, 2006), (Kumar, *et al.*, 2022).

Nas linhas de produção automóvel, o *Kaizen* é frequentemente utilizado através de eventos estruturados de melhoria, onde equipas multidisciplinares são mobilizadas para identificar, analisar e eliminar o desperdício num determinado processo, num curto espaço de tempo. Estes eventos, conhecidos como *Kaizen Events* ou *Kaizen Blitz*, permitem melhorias rápidas e visíveis em domínios como tempos de *setup*, organização de postos de trabalho, ergonomia e qualidade do produto (Chotaliya, Mehta, 2022).

Um exemplo relevante é o estudo apresentado em (Pinto, *et al.*, 2019), onde se descreve a aplicação de técnicas *Kaizen* no setor automóvel português, nomeadamente na área da manutenção de prensas, com foco na reorganização do espaço e na eliminação de tempos de espera. Através da implementação de técnicas simples como o 5S e o SMED, a empresa obteve uma redução de 11% no tempo de *setup* e um aumento da *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) para valores superiores a 90%.

Outro exemplo, descrito em (Chotaliya, Mehta, 2022), foi analisado a introdução de técnicas *Kaizen* num departamento logístico duma empresa de componentes multimédia para automóveis. Através de reuniões *Kaizen* diárias e do envolvimento direto dos operadores na proposta de melhorias, foram registadas reduções de tempo de *picking*, melhoria no *layout* e aumento da produtividade da linha. A intervenção mostrou como a melhoria contínua não se limita ao setor produtivo, mas pode ser aplicada com sucesso em áreas de suporte, com impacte direto na cadeia de valor.

Importa salientar que o sucesso das práticas *Kaizen* na indústria automóvel não depende apenas das ferramentas utilizadas, mas sobretudo da exigência duma cultura organizacional que valorize o pensamento crítico, o trabalho em equipa e a melhoria contínua. O verdadeiro poder do *Kaizen* reside no desenvolvimento das pessoas capazes de resolver problemas de forma estruturada, orientadas para a aprendizagem constante (Liker, 2006), (Deshmukh, et al., 2022).

Com o avanço da digitalização industrial, muitas empresas automóveis têm procurado integrar os princípios do *Kaizen* com as tecnologias da Indústria 4.0. Em empresas automóveis na Alemanha, casos de sucesso demonstram que sensores inteligentes e *dashboards* digitais têm vindo a apoiar visualmente os processos de melhoria contínua, tornando os ciclos *Kaizen* mais ágeis, monitorizados e eficazes (Marinelli et al., 2021).

Como demonstrado nos exemplos expostos, o *Kaizen* é uma ferramenta essencial para a excelência operacional na indústria automóvel. Através da sua aplicação contínua e estruturada, as empresas conseguem não só aumentar a sua produtividade e qualidade, mas também construir um ambiente de trabalho mais participativo, disciplinado e orientado para resultados sustentáveis (Möldner, et al., 2020).

## **2.4. Ferramentas Lean Complementares ao Kaizen na Indústria Automóvel**

A filosofia *Kaizen*, centrada na melhoria contínua, é amplamente aplicada na indústria automóvel para otimizar processos e eliminar desperdícios. No entanto, para maximizar os benefícios da filosofia *Kaizen*, é essencial integrá-lo com outras ferramentas *Lean* que complementam e reforçam as suas práticas. Estas ferramentas promovem uma abordagem holística de eficiência operacional e qualidade total, princípios centrais do SPT (Liker, 2006), (Deshmukh, et al., 2022). Com efeito, neste subcapítulo são exploradas algumas dessas ferramentas e a sua aplicação no contexto automóvel.

- ***Poka-Yoke* (à prova de erro)**

O *Poka-Yoke* é uma técnica *Lean* destinada a evitar a ocorrência de erros humanos, promovendo a qualidade na origem. Na indústria automóvel, este método é essencial, dado o elevado grau de precisão exigido nas linhas de produção; p.e., dispositivos de bloqueio que impedem a montagem incorreta de componentes são amplamente usados, contribuindo assim na redução de “retrabalho” e falhas de produto (Liker, 2006).

- **5S (*Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke*)**

A metodologia 5S foca-se na organização, limpeza e padronização do ambiente de trabalho, criando condições para um fluxo produtivo eficiente e seguro. Na indústria automóvel, a aplicação rigorosa dos 5S permite reduzir o tempo desperdiçado na procura de ferramentas, melhora a ergonomia dos postos e facilita auditorias internas. Esta metodologia é muitas vezes o ponto de partida para projetos de *Kaizen* sustentáveis (Hossen, *et al.*, 2025). Estruturalmente os cinco princípios do 5S são sumarizados:

1. *Seiri* (Classificar): Identificação e separação do que é necessário e desnecessário.
2. *Seiton* (Organizar): Organização dos materiais e ferramentas em locais específicos e fáceis de encontrar.
3. *Seiso* (Limpar): Criar rotinas de limpeza e organização no ambiente de trabalho.
4. *Seiketsu* (Padronizar): Estabelecimento de padrões de organização e limpeza.
5. *Shitsuke* (Disciplinar/Manter): Manutenção da consistência na organização e limpeza.

- ***Kanban***

O sistema *Kanban* surgiu como uma das ferramentas centrais do modelo de produção da Toyota, tendo sido concebido para viabilizar a produção *Just-in-Time* (JIT). Trata-se dum sistema de controlo visual que regula o fluxo de materiais com base na reposição de itens consumidos, funcionando segundo o princípio de “*produzir apenas o que foi consumido*”, conhecido como “*take one, make one*” (Amasaka, 2002), (Powell, 2018).

Originalmente pensado para ambientes de produção em massa, o *Kanban* foi frequentemente visto como impraticável em contextos de elevada variedade e baixo volume de produtos, como é o caso das produções por encomenda. No entanto, alguns estudos demonstram que, mesmo nesses cenários desafiantes, elementos do sistema *Kanban*, especialmente a sua vertente visual, podem ser adaptados com sucesso para melhorar o controlo da produção e reduzir os prazos de entrega (Powell, 2018), (Inas, Madiha, 2024).

Na origem do termo, a palavra “*Kanban*” deriva de dois caracteres japoneses “*Kan*”, que remete à ideia de observar atentamente, e “*Ban*”, que significa literalmente quadro de madeira. A essência deste conceito está precisamente na sua capacidade de tornar visível o estado do processo produtivo. Assim, o *Kanban* não se resume às tradicionais “*cartas de produção*”, mas pode ser entendido como uma ferramenta de gestão visual, onde quadros (físicos ou digitais) representam as diversas etapas do fluxo de trabalho (Powell, 2018).

Em ambientes industriais mais complexos e dinâmicos, como demonstrado em estudos no setor marítimo, a utilização de quadros *Kanban* permite uma gestão mais eficaz das ordens de fabrico, promovendo o trabalho colaborativo, a limitação do trabalho em curso, e a rápida identificação de gargalos no processo. Desta forma, o *Kanban* contribui não só para a sincronização entre processos, mas também para a melhoria contínua da eficiência operacional, (Amasaka, 2002), (Powell, 2018).

- **Gestão Visual (*Visual Management*)**

A gestão visual facilita a comunicação no chão de fábrica, utilizando sinais e indicadores visuais para monitorizar e controlar os processos. No contexto automóvel, quadros de acompanhamento de produção, codificação por cores e luzes de sinalização *Andon* são exemplos concretos que melhoram a perceção do estado do processo e aceleram a tomada de decisão (Dombrowski, *et al.*, 2017).

- **Trabalho Padronizado (*Standard Work*)**

A tarefa consiste na definição da melhor sequência e tempo para executar uma determinada atividade. Esta prática garante que todos os operadores executam o processo de forma consistente e eficiente, contribuindo para a estabilidade da produção. Na indústria automóvel, a padronização de tarefas minimiza a variabilidade e é um elemento chave da implementação sustentada do *Kaizen* (Chotaliya, Mehta, 2022).

- ***Jidoka* (Automatização)**

O princípio de *Jidoka*, também conhecido como automação com um toque humano, permite que os operadores ou os próprios equipamentos interrompam a produção sempre que é detetada uma anomalia. Esta prática assegura que os defeitos não se propaguem ao longo do processo produtivo. Por exemplo, sensores instalados nas máquinas de prensagem automóvel que param a produção automaticamente quando detetam deformações incorretas são uma aplicação típica (Liker, 2006).

- ***Andon* (Sistema de Sinalização)**

O sistema *Andon* fornece *feedback* imediato sobre o estado da produção, recorrendo a luzes ou sinais sonoros para alertar sobre as anomalias. Esta ferramenta permite aos operadores identificar rapidamente desvios e tomar ações corretivas. A sua integração com práticas *Kaizen* é fundamental para promover a resolução imediata de problemas e o envolvimento de toda a equipa (Kumar, *et al.*, 2020), (Palange, Dhattrak, 2021).

## 2.5. *Kaizen e a Automação de Processos*

A filosofia *Kaizen*, ao centrar-se na melhoria contínua com foco na eliminação de desperdício e no envolvimento dos colaboradores, tem sido tradicionalmente aplicada através de intervenções simples, de baixo custo, e com forte componente humana. Contudo, com a ascensão da Indústria 4.0 onde se denota a digitalização dos processos industriais, tornou-se evidente o potencial de integrar os princípios do *Kaizen* com tecnologias de automação, sem comprometer os valores essenciais (Sundararajan, Terkar, 2022).

A convergência entre a filosofia de *Kaizen* e a automação é frequentemente referida como “*Kaizen* digitalizado” ou “*Kaizen* inteligente”, onde sensores, sistemas de recolha de dados, e algoritmos de apoio à decisão permitem detetar desvios e implementar melhorias de forma ágil. O objetivo permanece o mesmo: reduzir desperdícios, melhorar a qualidade e aumentar a eficiência, mas agora com suporte de tecnologias que ampliam a velocidade, a escala e a precisão da melhoria contínua (Mamede, et al., 2023).

A literatura científica assegura que a filosofia de *Kaizen* pode e deve coexistir com tecnologias automatizadas. É possível automatizar ciclos de melhoria contínua através da aplicação de *digital twins* e a inteligência de produção. Estes sistemas não identificam apenas desafios, como sugerem/executam também ajustes operacionais com base em dados em tempo real, acelerando os ciclos de *feedback* que caracterizam a filosofia de *Kaizen* (Washizu, Nakano, 2022).

Adicionalmente foi analisada a interdependência entre abordagens *Lean-Kaizen*, e tecnologias da Indústria 4.0, demonstrando que a integração bem planeada entre ambas gera valor sustentável, acelera a resposta às falhas e otimiza os recursos. A automação torna-se, assim, um facilitador da melhoria contínua e não uma ameaça ao seu propósito, desde que seja orientada para a criação de valor, e da eliminação de desperdícios (Sundararajan, Terkar, 2022).

Importa, no entanto, garantir que a integração da automação com a filosofia *Kaizen* respeita os fundamentos. O envolvimento das equipas, a simplicidade das soluções e a procura por melhoria incremental devem ser mantidos, mesmo quando mediados por tecnologias como sensores, *software* de visão artificial ou sistemas de apoio à decisão. Diversos estudos indicam que é possível alcançar este equilíbrio, sobretudo em ambientes industriais que já cultivam uma cultura *Lean* estruturada (Washizu, Nakano, 2022), (Mamede, et al., 2023).

Como exposto, a automatização de processos e a filosofia *Kaizen* são cada vez mais abordagens complementares. A automatização deve ser encarada como um meio para reforçar e escalar a melhoria contínua, desde que integrada com sensibilidade à cultura *Lean*. No ambiente industrial moderno, como o da indústria automóvel, esta combinação representa uma via sólida para ganhos sustentáveis em eficiência, qualidade e valorização do trabalho humano (Anosike, *et al.*, 2021).

## **2.6. Indústria 4.0 na Eliminação de Desperdícios e Aumento de Valor: Contributos para a Melhoria Contínua**

A transição da Indústria 4.0 tem revolucionado a forma como as organizações encaram a gestão da produção, ao introduzir tecnologias digitais que permitem um controlo mais preciso, automatizado e inteligente dos processos, onde se inclui as normas do *Lean*. Estas inovações não surgem em oposição às abordagens tradicionais como o LM, mas sim como um complemento natural que potencia a sua aplicação, em ambientes produtivos complexos (Washizu, Nakano, 2022), (Gatell, Avella, 2024).

Neste contexto, tecnologias como sensores inteligentes, sistemas ciberfísicos, IoT, e plataformas de análise de dados em tempo real, permitem identificar e eliminar desperdícios com uma eficácia que seria difícil de alcançar apenas com observação humana. Os sistemas inteligentes de monitorização têm a capacidade de reconhecer padrões de ineficiência no processo produtivo e emitir alertas em “tempo real”, permitindo uma atuação rápida e precisa. Permitindo o encaixe perfeito com os objetivos em *Lean*: eliminar tudo o que não acrescenta valor ao produto (Rajab, Salonitis, 2022).

Esta correlação entre as ferramentas *Lean* e as aplicações da Indústria 4.0 não só aumentam a eficiência operacional como também facilitam a padronização e o controlo de qualidade. Práticas como o *Kanban* digital, o controlo visual automatizado e a manutenção preventiva apoiada por inteligência artificial têm-se mostrado eficazes na eliminação de tempo de inatividade, defeitos e inventários excessivos (Costa, *et al.*, 2024). A digitalização permite que estes elementos sejam detetados em tempo real, automatizando respostas e reforçando a consistência dos processos.

A combinação da Indústria 4.0 e *Lean*, muitas vezes designada por “*Lean 4.0*”, representa uma nova fase evolutiva das operações industriais, onde o foco permanece na melhoria contínua, mas com maior apoio em sistemas digitais. Essa abordagem permite uma maior agilidade na implementação de ciclos PDCA, maior precisão na recolha de dados, e decisões mais fundamentadas em “tempo real” (Cifone *et al.*, 2021).

Apesar dos avanços, é importante destacar que esta integração requer uma adaptação cuidadosa das organizações, especialmente ao nível da cultura interna e da capacitação dos recursos humanos. A aplicação de simultânea de ferramentas *Lean* e tecnologias da Indústria 4.0 não é automática, é necessário compreender bem os processos, escolher as tecnologias certas e garantir o envolvimento das equipas. Caso contrário, existe o risco de digitalizar ineficiência ou criar sistemas complexos que dificultem a flexibilidade operacional, um dos pilares do pensamento *Lean* (Guimarães, et al., 2025).

Assim, a Indústria 4.0 não substitui o *Lean*, mas oferece uma base tecnológica robusta para o aplicar com maior profundidade e velocidade. Os desperdícios tornam-se mais visíveis, as decisões mais rápidas e a melhoria contínua mais consistente. Quando corretamente integradas, estas abordagens complementam-se e reforçam-se mutuamente, permitindo que as empresas não melhorem apenas os seus indicadores de qualidade e produtividade, mas também o valor entregue ao cliente final (Gatell, Avella, 2024).

## **2.7. Certificações Existentes na SSM**

A SSM encontra-se certificada segundo normas internacionais que asseguram um compromisso com a qualidade, a segurança, sustentabilidade e melhoria contínua. Estas certificações são reflexo do investimento contínuo na melhoria de processos e na conformidade com os requisitos legais e normativos do setor automóvel. Entre as certificações mais relevantes destacam-se:

- IATF 16949 – Sistema de Gestão da Qualidade na Indústria Automóvel, desenvolvido pela *International Automotive Task Force* (IATF) e baseado nos requisitos da norma 9001. Esta certificação é essencial para o fornecimento a fabricantes de equipamentos originais e estabelece critérios rigorosos para a gestão da qualidade ao longo de toda a cadeia de produção. A IATF 16949 reforça a prevenção de defeitos, a redução de variações e desperdícios e a melhoria contínua dos processos de fabrico (IATF, 2025).
- ISO 9001 – Sistemas de Gestão da Qualidade, uma das normas mais amplamente implementadas a nível global. Esta certificação garante que a empresa possui um sistema eficaz de gestão da qualidade, focado na satisfação do cliente, na padronização de processos e na procura de oportunidades de melhoria. A norma é um pilar fundamental para assegurar consistência, rastreabilidade, e eficiência operacional (APCER, 2025).

- ISO 14001 – Sistema de Gestão Ambiental, que valida o compromisso da SSM com a proteção do meio ambiente. Esta norma assegura que a empresa identifica, controla e reduz os impactos ambientais das suas atividades, através de práticas responsáveis de gestão de resíduos, consumo energético, emissões e utilização de recursos naturais, contribuindo para uma produção mais sustentável (APCER, 2025).
- ISO 45001 – Sistema de Gestão da Saúde e Segurança do Trabalho, que estabelece diretrizes para garantir ambientes de trabalho seguros e saudáveis. Esta norma promove uma abordagem proativa na prevenção de lesões, acidentes e doenças ocupacionais, além de envolver os trabalhadores na gestão de riscos e na promoção de segurança (APCER, 2025).

Todas estas certificações, apresentadas na Figura 2.3, são auditadas periodicamente por entidades externas qualificadas, garantindo conformidade contínua com os requisitos normativos legais. Para além de representarem uma vantagem competitiva junto dos clientes e parceiros de negócio, estas certificações fazem parte integrante da cultura organizacional da SSM, promovendo práticas baseadas em rigor, responsabilidade e excelência.

Adicionalmente, a manutenção destas certificações contribui para reforçar a reputação da SSM, assegurando os seus elevados padrões de fiabilidade e desempenho. A presença destas normas no sistema de gestão reflete a estratégia da empresa em manter-se na vanguarda da indústria automóvel, baseando-se em princípios de transparência, segurança e sustentabilidade. Estas certificações reforçam a posição da SSM como referência na indústria automóvel a nível nacional e internacional.



*Figura 2.3 - Certificações na SSM.*

## **2.8. Caracterização do Setor Automóvel em Portugal**

A indústria automóvel representa uma das áreas mais importantes da economia portuguesa, assumindo um papel central na indústria, quer ao nível da criação de emprego qualificado, quer pelo seu contributo significativo para as exportações nacionais. Este setor inclui a fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e, sobretudo, componentes, uma atividade que se encontra fortemente integrada nas cadeias de valor internacionais (Moita, *et al.*, 2024).

De acordo com os dados mais recentes do Banco de Portugal, o número de empresas ativas nesta área, especificamente na divisão 29 da CAE Ver.3<sup>3</sup>, ascendia a 1.089 empresas em 2022. Este conjunto de empresas empregava cerca de 43 mil trabalhadores, o que evidencia a dimensão e o peso deste setor no panorama industrial português (Banco de Portugal, 2023).

Nos últimos anos, a indústria automóvel tem vindo a destacar-se também pelos investimentos realizados, particularmente ao nível da inovação tecnológica e da adaptação à transição energética. Apesar das oscilações registadas na Formação Bruta do Capital Fixo (FBCF), durante o período da pandemia, os dados apontam para uma recuperação em 2022, sinalizando a recuperação do investimento e o reforço da aposta na modernização.

Contudo, o setor enfrentou algumas dificuldades no início de 2022, em grande parte associadas às disrupções nas cadeias de abastecimento globais e ao aumento dos custos das matérias-primas. Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), o volume de negócios no agrupamento dos bens de investimento, onde se inclui a indústria automóvel, registou uma variação homóloga negativa de -0,6% em janeiro de 2022. Mais especificamente, as exportações da divisão 29 caíram 13,4% nesse mesmo mês, contrastando com o aumento de 22% verificado em dezembro de 2021 (INE, 2022).

Ainda assim, os indicadores de mercado de trabalho apresentam uma evolução positiva. No mesmo período, o índice de emprego na indústria transformadora registou uma subida de 2,6% face ao ano anterior, acompanhada por aumentos de 3,9% nas remunerações médias, e de 2,1% no número de horas trabalhadas. Apesar de estes dados não estarem desagregados por subsectores, a indústria automóvel integra este conjunto. A Tabela 2.1 resume os principais dados de atividade industrial referentes à indústria automóvel portuguesa no início de 2022 (INE, 2022).

---

<sup>3</sup> CAE Ver.3 refere-se à Classificação das Atividades Económicas – Revisão 3, que é o sistema utilizado em Portugal para classificar e agrupar as diversas atividades económicas exercidas pelas empresas.

Tabela 2.1 - Indicadores de Atividade na Indústria Automóvel e Portugal.

<b>Indicador</b>	<b>Valor/Variação (%)</b>
<b>Volume de negócios (Bens de Investimento)</b>	-0,6% (variação homóloga)
<b>Exportações da divisão 29 (veículos e componentes)</b>	-13,2% (jan. 2022)
<b>Emprego na indústria</b>	+2,6%
<b>Remuneração na indústria</b>	+3,9%
<b>Horas trabalhadas</b>	+2,1%

Neste contexto de transformação, os fornecedores de componentes como a SSM têm desempenhado um papel estratégico. A sua capacidade de resposta técnica, flexibilidade industrial e foco em qualidade permitiram-lhe manter uma posição de destaque no setor automóvel europeu. Adicionalmente, a sustentabilidade tornou-se um eixo central, com o setor a apostar fortemente na eficiência energética, economia circular e redução de emissões, tanto na produção como nos próprios veículos fabricados.

## **2.9. Processos Produtivos**

A SSM dedica-se ao desenvolvimento de atividades metalomecânicas de elevada exigência técnica, focadas no fabrico de componentes estruturais e funcionais para a indústria automóvel. Esta unidade tem evoluído de forma significativa nos últimos anos, adaptando-se às exigências de setor automóvel e incorporando tecnologias de ponta nos seus processos produtivos. O processo produtivo integra diversas operações tecnológicas avançadas, entre as quais se destacam:

- Estampagem de alta precisão, realizada em prensas mecânicas e hidráulicas, garantindo a conformidade dimensional e estrutural dos componentes metálicos.
- Corte e conformação de metais, com inclusão de operações de corte fino para peças com requisitos geométricos rigorosos.
- Soldadura a laser, uma tecnologia adotada em substituição de métodos tradicionais, que permite uma maior precisão e resistência nas uniões metálicas.
- Maquinação CNC, que assegura a obtenção de geometrias de precisão em componentes críticos.

- Tratamento de superfícies, como galvanização, fosforização e pintura electrostática (*e-coating*), aplicados para proteção anticorrosiva e acabamento conforme as especificações dos clientes.
- Montagem de subconjuntos, envolvendo a integração de componentes e a execução de ensaios funcionais.
- Controlo de qualidade avançado, com uso de máquinas de medição tridimensionais (CMM), gabaritos de controlo dedicados e instrumentos de medição de alta precisão, garantindo a conformidade com os requisitos técnicos e normativos dos clientes.

A unidade opera atualmente com quatro linhas de produção principais, focadas em componentes para sistemas de transmissão e motorização automóvel:

- *FDCT (Frontal Dual Clutch Transmission)*: Linha dedicada à produção de componentes para caixas de velocidade automáticas de dupla embraiagem com 8 velocidades (utilizadas, p.e., em modelos da Mercedes-Benz). Os componentes incluem sistemas de engrenagem com sensores magnéticos que fornecem informação à unidade de controlo eletrónica do veículo sobre a posição da transmissão. Esta linha foi desenvolvida em parceria com o centro de desenvolvimento do grupo SODECIA em Hannover, Alemanha, e tem registado um crescimento contínuo da capacidade produtiva para responder à crescente procura.
- Caixa manual de velocidades de 6 relações: Linha destinada à produção de componentes para transmissões manuais, como foco na robustez, precisão dimensional e fiabilidade funcional, cumprindo exigentes requisitos técnicos definidos pelos clientes.
- *Embout*: Linha responsável pela produção de componentes aplicados em sistemas de lubrificação do motor. Estes elementos são obtidos por estampagem e conformação de tubos metálicos, desempenhando uma função essencial na condução de lubrificantes dentro do motor. Esta linha apresenta um fluxo de produção relativamente simples, mas de grande importância técnica, sendo nela que se insere o projeto *Kaizen* desenvolvido no âmbito deste Estágio Curricular.
- Componentes soldados para subconjuntos estruturais: Linha focada na produção de peças metálicas soldadas e montadas, utilizadas em diversas áreas estruturais dos veículos, nomeadamente suportes, ligadores e reforços. Esta linha combina operações de soldadura, montagem e inspeção.

A produção é gerida com base em planos de produção diários ajustados à procura real dos clientes, sendo suportada por um sistema de planeamento integrado e ferramentas de acompanhamento da performance produtiva. A gestão operacional da unidade segue os princípios do LM, com foco na eliminação de desperdícios, padronização dos processos e na melhoria contínua da eficiência.

O Departamento de Produção da SSM assume um papel estratégico na execução das encomendas, garantindo o cumprimento dos prazos, a qualidade do produto exigida pelos clientes e a fiabilidade dos processos, em total conformidade com norma internacional IATF 16949.

## ***2.10. Processo Produtivo do Componente Embout***

No âmbito do Estágio Curricular realizado na SSM, a análise centrou-se numa linha de produção específica da unidade, a linha dedicada à produção do componente *Embout*, uma peça metálica de geometria precisa, utilizada em sistemas de lubrificação de motores automóveis. Apesar de se tratar de uma linha de dimensão reduzida, como mostra a Figura 2.8, localizada num espaço autónomo da área de prensas, o processo é tecnicamente exigente e relevante dentro do portefólio produtivo da unidade.

A matéria-prima utilizada neste processo chega à fábrica sob a forma de tubos metálicos cilíndricos cortados à medida, como se pode observar do lado esquerdo da Figura 2.4, que são colocados no tanque de abastecimento da prensa hidráulica. A partir deste tanque, os tubos são conduzidos automaticamente para um alimentador de linha, que os posiciona, um a um, num suporte interno já situado dentro da prensa. Esta operação inicial assegura a alimentação contínua do sistema e reduz o tempo de manuseamento manual.

A prensa hidráulica, que constitui o centro da linha, opera com dois ciclos distintos de estampagem sobre o mesmo tubo. A máquina está equipada com mecanismos de manipulação automatizados (pinças), que transferem os tubos entre diferentes posições no interior da prensa. O processo divide-se em duas etapas principais:

1. Conformação do BLG (base do *Embout*) - A primeira peça posiciona o tubo no primeiro ponto de atuação da prensa, onde é efetuada a conformação da base da peça (BLG), conferindo-lhe a forma inicial, representada pela segunda peça da Figura 2.5.

2. Formação da gola - Uma segunda pinça retira o tubo parcialmente conformado e reposiciona-o para a segunda zona da prensa, onde é moldada a gola, completando a geometria funcional do *Embout*, como se pode observar pela terceira peça da Figura 2.4.

Apesar de ocorrerem dois impactos distintos, todo este processo é realizado dentro da mesma prensa, a qual efetua dois golpes sucessivos com ferramentas diferentes. Após a conformação final, uma terceira pinça extrai a peça acabada da prensa e coloca-a num tapete de inspeção dimensional automática, responsável por verificar exclusivamente o diâmetro da base (BLG).

As peças com medidas dentro da tolerância são automaticamente desviadas para um *rack* de peças *OK*<sup>4</sup>, enquanto as que apresentam variações, acima ou abaixo da medida nominal, são colocadas num *rack* de peças *NOK*<sup>5</sup>. Este controlo inicial assegura uma triagem preliminar antes das fases finais do processo.

As peças consideradas conformes (*OK*) são armazenadas temporariamente em caixas próprias, e, numa etapa subsequente, são enviadas para uma empresa subcontratada responsável pelo processo de zincagem, que fornece proteção anticorrosiva à superfície metálica. Esta operação é realizada externamente à SSM, sendo peças novamente rececionadas após o tratamento.

Já tratadas, as peças voltam à SSM para a fase de controlo visual e embalamento, a qual ocorre num posto de trabalho separado da prensa. O processo de verificação é inteiramente manual e realizado por um operador experiente, com o apoio de luz e lupa de aumento, dado o elevado nível de detalhe exigido. Trata-se de um controlo visual a 100% focado nos pontos críticos da peça, representados na Figura 2.5, onde se identifica irregularidades, fissuras ou deformações mínimas.

Apesar da sua dimensão reduzida, como se observa esquematicamente na Figura 2.6 e Figura 2.7, a linha de produção representa um excelente exemplo de processo semi-automatizado com controlo de qualidade rigoroso, no qual coexistem operações de alto desempenho mecânico e tarefas manuais especializadas.

A sua análise aprofundada permitiu a identificação de pontos críticos de ineficiência, que estiveram na base do desenvolvimento dum projeto *Kaizen* orientado para a automatização parcial da inspeção, com o objetivo de aumentar a eficiência, reduzir o desperdício e melhorar a alocação de recursos humanos.

---

<sup>4</sup> Peças OK são aquelas que cumprem todos os requisitos de qualidade e especificações estabelecidas, sendo consideradas conformes e aptas para o uso ou venda.

<sup>5</sup> Peças NOK são as que apresentam defeitos ou não cumprem os critérios de qualidade, sendo rejeitadas ou retrabalhadas.

Complementarmente, as peças são ainda validadas dimensionalmente em gabaritos de verificação, como mostram as Figura 2.6 e Figura 2.7, assegurando o cumprimento dos requisitos técnicos dos clientes. Após a aprovação final, as peças são pesadas e embaladas em sacos com 1.200 ou 1.500 unidades, conforme o cliente final. Os sacos são colocados em caixas de transporte e armazenados num *rack* posicionado ao lado do posto de trabalho de verificação para posteriormente seguir para o cliente.



Figura 2.4 - Fases de Conformação do Embout.

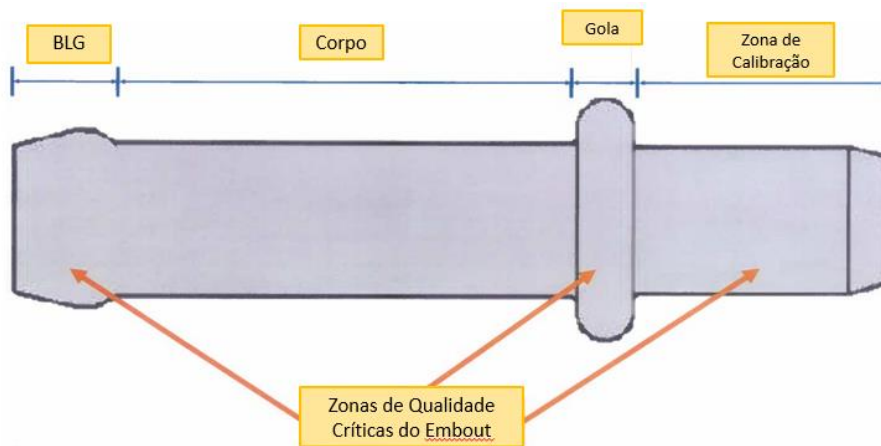


Figura 2.5 - Zonas críticas do Embout.

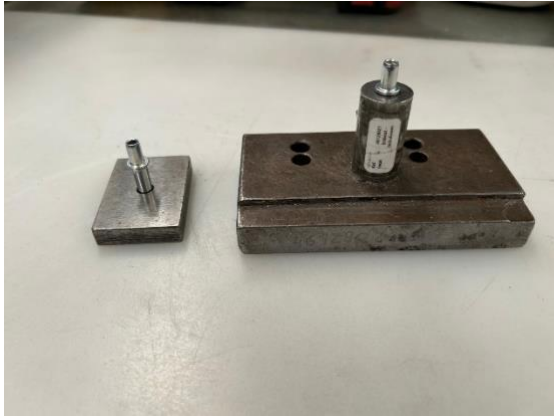


Figura 2.6 - Gabaritos de Verificação com a peça.

Figura 2.7 - Gabaritos de Verificação sem a peça.

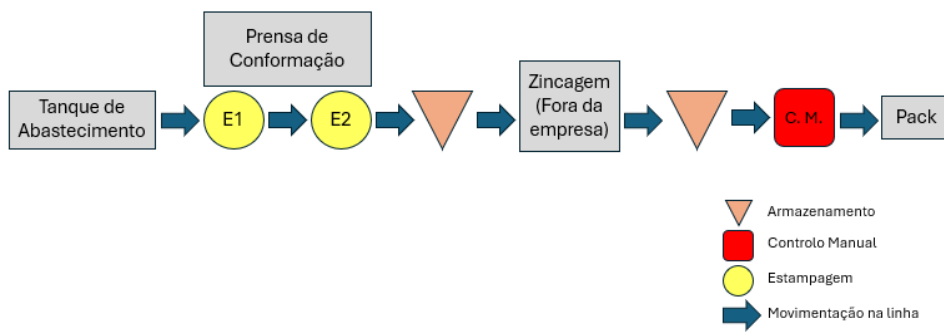


Figura 2.8 - Diagrama do Processo de Conformação do Embout Antes da Intervenção.

## **3. Materiais e Métodos**

### **3.1. Contextualização do Problema**

A linha de produção em análise é dedicada ao fabrico do componente *Embout*, uma peça metálica utilizada em sistemas de lubrificação de motores. Apesar de ser uma linha de produção relativamente simples e compacta, localizada num canto da unidade fabril, apresenta características operacionais que justificam uma intervenção ao abrigo da filosofia *Lean*.

Inicialmente, a operação seguia uma sequência tradicional composta por conformação da peça na prensa, envio para zincagem externa e, por fim, controlo de qualidade visual e embalamento manual. Esta fase final do processo concentrava-se num posto de trabalho isolado, fisicamente afastado da prensa, onde o operador executava tarefas repetitivas de inspeção visual peça a peça, com auxílio de uma lupa e luz dirigida.

Este posto, embora essencial para a qualidade do produto final, implicava elevados níveis de carga física e cognitiva para o operador. Estava previsto que a linha funcionasse quatro horas por turno, mas, devido à escassez de operadores com experiência suficiente para realizar a inspeção com os níveis de exigência requeridos, a operação acabou por ser concentrada apenas no turno da manhã, com uma carga de trabalho de oito horas consecutivas. Por vezes era também necessário colocar um outro operador para dar auxílio, de forma a cumprir os prazos de encomendas dos clientes.

O número de peças processadas por dia varia de acordo com o cliente e o nível de exigência técnica. Em situações de controlo parcial, o operador era responsável por verificar visualmente e embalar cerca de 9.000 peças num único turno. Já em encomendas que exigiam inspeção visual a 100% das peças e verificação adicional em gabaritos, o número processado era reduzido para aproximadamente 6.000 peças por turno. A realização consecutiva de tarefas tão repetitivas e minuciosas gerava sinais de fadiga e potenciava falhas humanas, além de limitar a flexibilidade da linha produtiva.

O problema não se restringia ao esforço do operador. A localização isolada do posto de inspeção implicava movimentação manual de grandes volumes de peças entre a área da prensa e o posto de verificação e embalamento, situado numa zona oposta da fábrica. Esta configuração dificultava a gestão visual do stock e criava fluxos de materiais desnecessários, contrariando os princípios *Lean*.

Neste cenário, identificam-se diversas oportunidades de melhoria:

- Sobrecarga de trabalho num único operador.
- Dependência de um recurso específico e não polivalente.
- Elevado tempo de ciclo associado à inspeção visual individual.
- Layout desajustado à lógica do fluxo produtivo.
- Dificuldade de gestão visual e de espaço.
- Risco de aumento de defeitos devido à fadiga do operador.

Para sistematizar a análise das causas deste problema, foi elaborado um diagrama de *Ishikawa*, ilustrado na Figura 3.1, no qual se destacam duas áreas principais de intervenção:

- Método: a forma como as peças eram colocadas (inspeção 100% manual).
- Medida: o tempo excessivo de verificação de cada peça individual.

A partir desta caracterização do problema foi delineado um plano de melhoria com base em princípios *Kaizen*, com o objetivo de automatizar parcialmente a inspeção, reorganizar o layout e reaproveitar o operador em tarefas de maior valor acrescentado, aumentando a eficiência e a ergonomia do posto de trabalho.

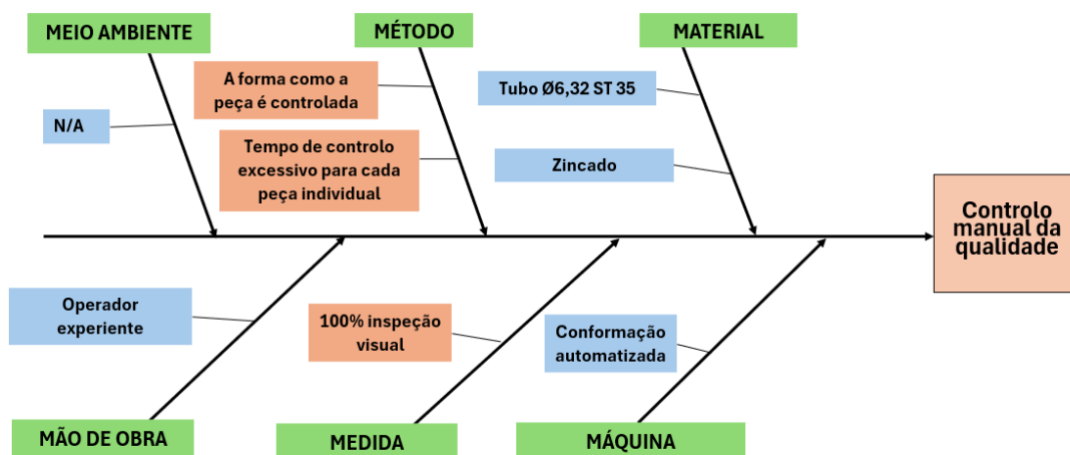


Figura 3.1 - Diagrama de Ishikawa.

### 3.2. *Objetivos da Intervenção Kaizen*

A análise efetuada à linha de produção do componente Embout permitiu identificar diversos pontos críticos que limitavam a eficiência, a ergonomia e a flexibilidade operacional do processo. Perante este cenário, foi delineada uma intervenção de melhoria segundo os princípios do *Kaizen*, com o intuito de introduzir mudanças incrementais, sustentáveis e de baixo custo, capazes de gerar impacto imediato no desempenho da linha.

A metodologia adotada baseou-se no ciclo PDCA, uma ferramenta fundamental da melhoria contínua, amplamente utilizada em ambientes *Lean*. A Figura 3.2 ilustra a aplicação prática deste ciclo à realidade da linha do *Embout*, realizada da seguinte forma:

**Plan (Planear):** A fase de planeamento teve início com a observação sistemática da linha de produção e com a análise dos dados operacionais relativos à produtividade, qualidade e alocação de recursos humanos. Foi, então, identificada a necessidade de:

- Reduzir a sobrecarga do operador na inspeção visual.
- Minimizar a dependência de mão de obra especializada.
- Eliminar movimentações desnecessárias entre zonas de trabalho.
- Melhorar a ergonomia e gestão visual de stocks.
- Reorganizar o layout de forma a concentrar as operações num espaço único.
- Aumentar a flexibilidade da linha para responder a diferentes exigências dos clientes.

Com base nestas conclusões, definiu-se como principal objetivo automatizar parcialmente o processo de inspeção, permitindo o reaproveitamento do operador a outras tarefas e a simplificação do fluxo logístico.

**Do (Executar):** Na fase de execução, procedeu-se à implementação das melhorias:

- Instalação de um sistema de inspeção da peça automatizado, de forma a verificar todos os pontos críticos do *Embout*.
- Configuração de dois destinos finais para as peças (Caixas *OK* e *NOK*).
- Introdução de uma caixa de peças rejeitadas (caixa amarela) que armazena as peças *NOK* para nova verificação manual, promovendo a diminuição do desperdício.
- Eliminação do posto de inspeção anterior e criação de um novo posto de embalagem, de área mais reduzida, junto à prensa.

- Reorganização dos *racks* de *stock* (peças conformadas por zincar, peças zincadas e peças embaladas) no mesmo local, otimizando a gestão visual.
- Reaproveitamento de equipamentos já existentes na fábrica (como sejam o Controlador Lógico Programável (PLC), quadro elétrico, câmara, parte mecânica, etc.), reduzindo o investimento necessário.
- Reorganização funcional que permite ao operador, nos tempos livres, apoiar uma máquina de injeção situada logo ao lado da prensa de conformação do *Embout*, aumentando o seu contributo produtivo.

**Check (Verificar):** Após a implementação destas melhorias, foram observados os seguintes pontos de verificação:

- A redução do número de peças inspecionadas manualmente: passou-se de 100% de verificação visual para uma amostra de 20 peças por saco (de 1.200 ou 1.500 peças).
- A separação automatizada permitiu eliminar parte dos erros humanos e reduzir o tempo de ciclo.
- A eficácia do sistema de rejeição automatizado foi validada, com o operador a inspecionar apenas as peças que o sistema assinala como não conformes, garantindo qualidade e minimizando o desperdício.
- Foi confirmado o aumento da fluidez do processo logístico e a libertação de espaço na fábrica.

**Act (Agir):** Com base nos resultados obtidos, a solução foi consolidada e normalização. O novo método de trabalho passou a integrar as instruções operacionais da linha, e os dados recolhidos serviram para reforçar a necessidade de continuar a investir em soluções internas de automatização de baixo custo e elevado impacte.

Ficou ainda sinalizada a possibilidade de replicar esta lógica de intervenção em outras linhas da fábrica com características semelhantes, reforçando a aplicação da filosofia *Kaizen* em contexto industrial real. A implementação desta metodologia permitiu alcançar objetivos operacionais e organizacionais concretos, nomeadamente:

- Redução do tempo de inspeção e embalagem.
- Aumento da polivalência e aproveitamento do operador.
- Melhoria ergonómica e visual da área de trabalho.
- Reforço da cultura de melhoria contínua.
- Otimização do espaço fabril.

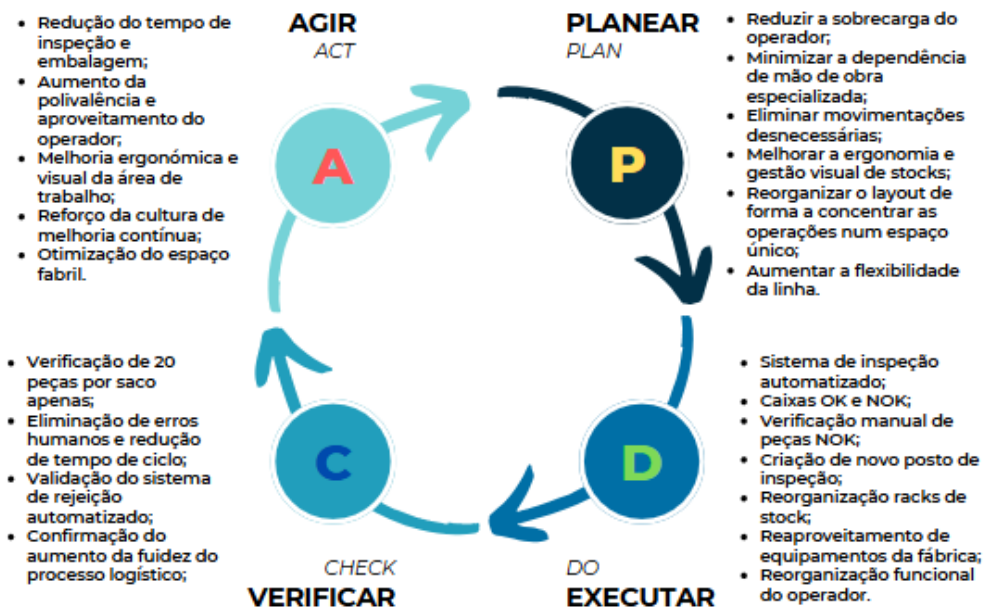


Figura 3.2 - Ciclo PDCA.

Além da estruturação do projeto através do ciclo PDCA, a intervenção está fortemente alinhada com diversas ferramentas e princípios do LM, cuja aplicação prática foi essencial para a obtenção dos resultados esperados. Em primeiro lugar, a eliminação da necessidade de transporte manual das peças entre zonas fisicamente afastadas contribuiu para a redução de um dos sete desperdícios clássicos, o desperdício por transporte. A nova organização do posto de trabalho, com o embalamento a ocorrer junto à prensa, permite que o operador se concentre em atividades de maior valor acrescentado, reduzindo deslocações, espera e manuseamentos desnecessários.

A intervenção refletiu, também, o princípio do trabalho padronizado (*Standard Work*), redefinindo as tarefas do operador e documentando as mesmas com base num novo método de trabalho. Esta padronização garante consistência operacional e facilita a formação dos operadores, reduzindo a dependência de perfis altamente especializados.

A adoção de um novo layout, com os elementos do processo posicionados de forma sequencial e próxima, reforça a lógica de fluxo contínuo, contribuindo para a redução de inventário em processo (WIP) e para a melhoria da gestão visual do stock. Este último aspeto está também associado à ferramenta 5S, já que a reorganização do espaço de trabalho promoveu maior visibilidade, ordem e aproveitamento do espaço.

Finalmente, a implementação de uma solução de inspeção automatizada, com rejeição direcionada e posterior triagem, representa uma aplicação prática do *Poka-Yoke*, uma técnica de prevenção de erros, que atua diretamente na fonte do defeito e contribuiu para a robustez do processo produtivo.

Estes elementos demonstram que, para além de cumprir objetivos operacionais concretos, o projeto foi estruturado com base em metodologias consolidadas de melhoria contínua, alinhando-se com a cultura *Lean* e *Kaizen* da organização.

### **3.3. Implementação da Solução**

A implementação do projeto *Kaizen* na linha de produção do *Embout* decorreu de forma faseada, envolvendo a intervenção simultânea em vários domínios operacionais: automatização do processo de inspeção, reorganização do layout fabril, reaproveitamento de materiais e redefinição de tarefas do operador. Estas ações foram desenvolvidas de forma integrada, com o envolvimento das áreas de produção, manutenção e engenharia, segundo uma abordagem prática, sustentável e de baixo custo.

#### **3.3.1. Reorganização do Layout**

Uma das alterações estruturais mais relevantes no âmbito da melhoria implementada foi a reorganização do *layout* associado ao processo de inspeção e embalagem do componente *Embout*. Anteriormente, após a fase de conformação na prensa e o envio das peças para zincagem externa, estas eram rececionadas na fábrica e armazenadas num *rack* posicionado junto ao posto de inspeção, que se encontrava localizado numa zona distinta e afastada da área da prensa de conformação.

O operador, ao iniciar o seu turno, dirigia-se a este posto, onde procedia à verificação visual 100% das peças, utilizando uma lupa com iluminação direcionada e, em alguns casos, gabaritos de controle. As peças conforme eram então embaladas manualmente em sacos de 1.200 ou 1.500 unidades, dependendo do cliente, e armazenadas em caixas para posterior expedição. Embora não existisse transporte manual das peças diretamente da prensa, a distância entre áreas funcionais e a dispersão dos pontos de stock e inspeção dificultada a organização do trabalho e a gestão visual do inventário.

Com a intervenção *Kaizen*, este posto de inspeção e embalagem foi eliminado. Foi criada uma estação de trabalho simples, composta apenas por uma mesa de embalagem, posicionada junto à prensa concentrando todas as tarefas numa única zona fabril. Os *racks* de *stock* temporário (para peças conformadas por zincar, peças zincadas, peças embaladas e peças rejeitadas) foram igualmente reposicionadas, ficando todos perto da nova célula produtiva. Esta nova disposição permitiu:

- Facilitar a gestão visual do stock existente, tanto de peças por verificar como de peças prontas para expedição.
- Eliminar zonas de acumulação dispersas, concentrando o fluxo logístico e melhorando a fluidez operacional.
- Libertar espaço útil na fábrica, anteriormente ocupado pelo posto de trabalho isolado.
- Criar um ambiente mais organizado, limpo e visualmente controlado, em linha com os princípios 5S.

Esta reorganização, que pode ser observada nas Figura 3.3, Figura 3.4 e Figura 3.5, embora compreensível, teve um impacto significativo na facilidade de operação, na eficiência da célula e na capacidade de resposta da linha às variações de produção, contribuindo diretamente para os objetivos da intervenção.

### 3.3.2. Automatização da Inspeção

Antes da intervenção *Kaizen*, a linha de produção do *Embout* incluía apenas uma verificação dimensional automática do diâmetro da base da peça (BLG), realizada logo após a conformação. Os restantes pontos críticos eram verificados manualmente por um operador, após o processo de zincagem, num posto dedicado à inspeção visual com auxílio de uma lupa e luz. Esta verificação era feita peça a peça, resultando em longos tempos de ciclo e elevada carga de trabalho.

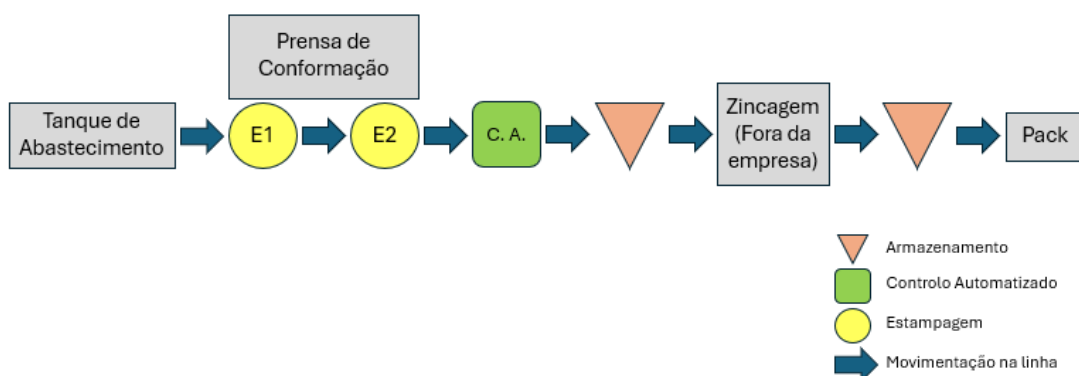


Figura 3.3 - Diagrama do Processo de Conformação do Embout Após a Intervenção.

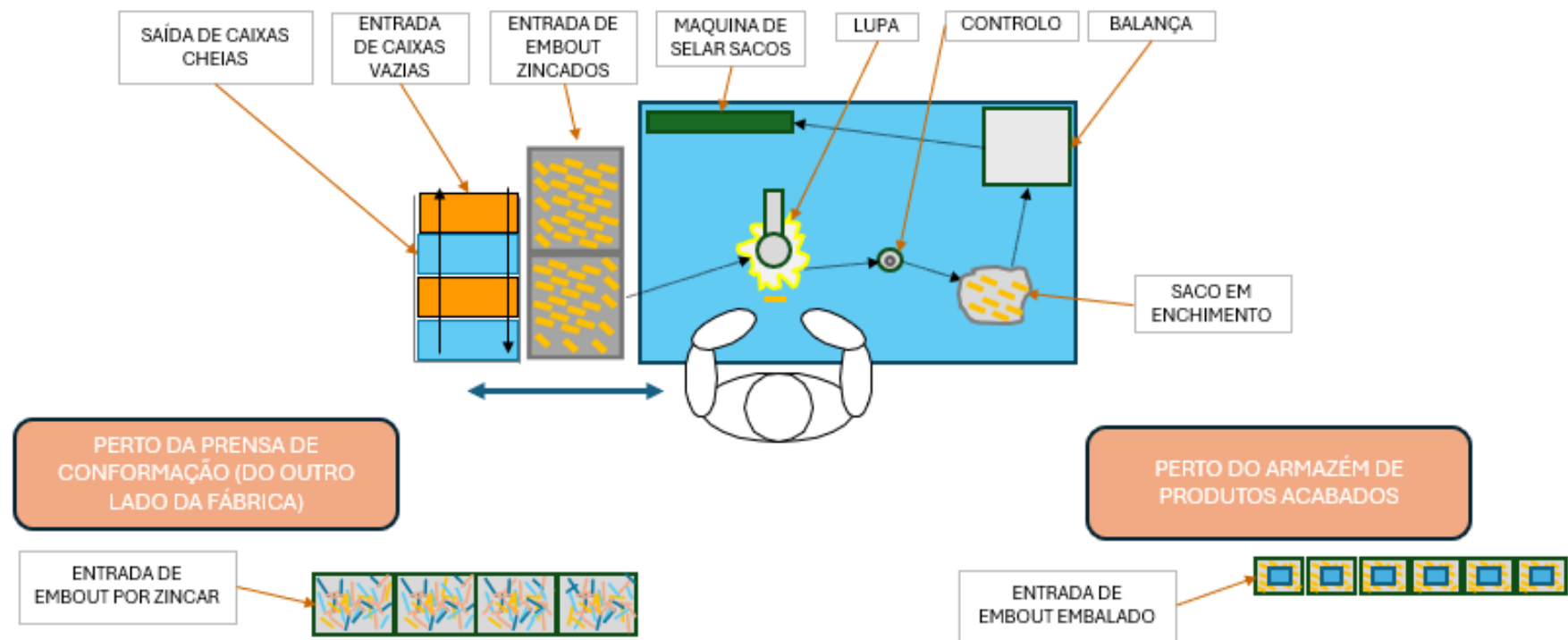


Figura 3.4 - Layout da Linha do Embout Antes da Intervenção

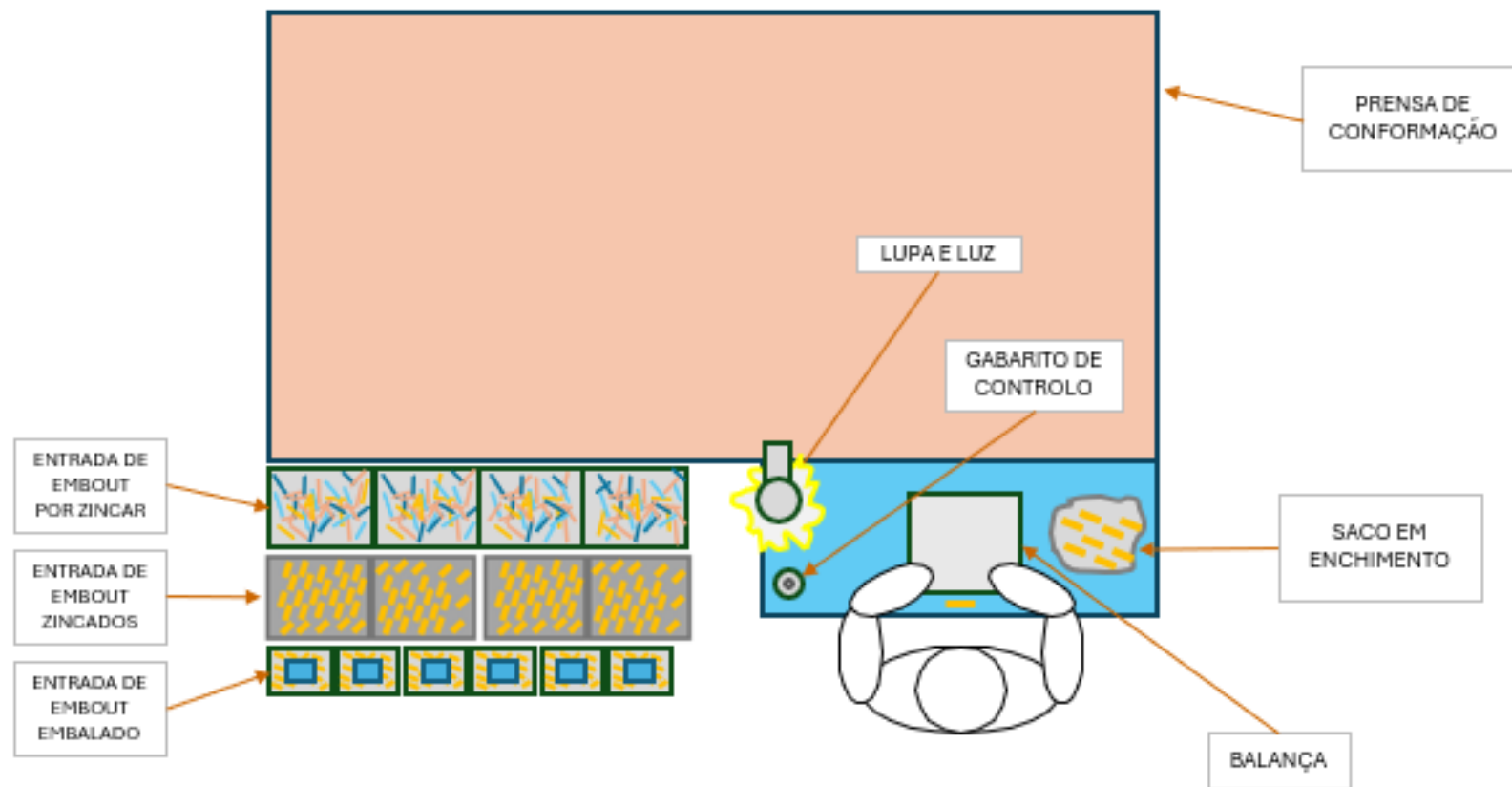


Figura 3.5 - Layout da Linha do Embout Após a Intervenção

Com o objetivo de aumentar a eficiência e fiabilidade do processo de controlo de qualidade, foi implementado um sistema de inspeção automatizado com o apoio de visão artificial, permitindo a análise completa das características críticas da peça diretamente no final da linha de conformação, antes mesmo do envio para a zincagem.

Após a conformação total do tubo (BLG e gola), a peça é transferida por um conjunto de pinças para um apoio rotativo automatizado, onde é sujeita a uma sequência de cinco testes de inspeção visual assistida por uma câmara, executados com apoio de sensores de posição e rotação precisa. Cada peça é analisada individualmente segundo os seguintes critérios:

1. Verificação do diâmetro do BLG: A primeira leitura confirma se o diâmetro da base conformada (BLG) se encontra dentro das tolerâncias definidas pelo cliente.
2. Verificação da presença da gola: Utilizando um ângulo específico de visualização, é analisada a presença e formato da gola da peça, identificando se foi corretamente formada.
3. Verificação da zona central da peça: Avaliação visual de possíveis deformações, amolgadelas ou fendas, que possam surgir na zona média durante o processo de conformação.
4. Análise do topo da peça: A câmara verifica o controlo do topo, validando se existem irregularidades na extremidade, como falhas de corte ou rebarbas.
5. Controlo da ovalização: A peça é rodada e captada sob diversos ângulos, permitindo detetar se existe ovalização ou distorções geométricas não visíveis de forma estática.

Todo este processo decorre em segundos, com elevada repetibilidade e fiabilidade, reduzindo drasticamente o risco de erro humano. A decisão é tomada de forma autónoma pelo sistema, com base nos parâmetros previamente definidos no programa de inspeção. Com base nos resultados obtido:

- As peças conformes são automaticamente conduzidas para uma caixa verde (*OK*).
- As peças não conformes (*NOK*) são desviadas para uma caixa amarela, onde são posteriormente revistas manualmente pelo operador para confirmar se se trata efetivamente de rejeições ou se é possível o reaproveitamento.

Este controlo automatizado permitiu eliminar o anterior sistema de verificação visual a 100%, que era exigente, repetitivo e propenso a erros por fadiga. Atualmente, o operador apenas realiza a verificação visual manual de 20 peças por cada saco embalado, sejam estes de 1.200 ou 1.500 peças, conforme as especificações e o cliente. A nova abordagem representa um avanço significativo em termos de:

- Eficiência operacional: o controlo deixou de ser um gargalo.
- Qualidade do produto: a deteção automatizada permite identificar defeitos não perceptíveis a olho nu.
- Condições de trabalho: foi eliminada uma tarefa monótona e exaustiva.
- Desperdício evitado: as peças rejeitadas não são descartadas de imediato, mas sim inspecionadas manualmente, o que evita a sucata injustificada.

Este processo de inspeção será detalhado tecnicamente no subcapítulo 3.4, que aborda a programação e funcionamento do sistema automatizado.

### **3.3.3. Reaproveitamento dos Recursos Técnicos**

Uma das grandes mais-valias deste projeto foi o elevado reaproveitamento de materiais e componentes existentes na fábrica, reduzindo significativamente o investimento necessário. Foram reutilizados:

- Um PLC já existente para controlar o sistema.
- Um quadro elétrico reaproveitado e adaptado à nova função.
- A câmara de visão e os elementos de medição reaproveitados de outro posto.
- A estrutura mecânica do sistema de inspeção e separação foi internamente construída nas oficinas internas da empresa.
- Os atuadores e sensores de posição foram retirados de equipamentos já existentes na fábrica.

Este reaproveitamento não só minimizou o custo, como valorizou os recursos internos da organização, mostrando a capacidade da equipa para desenvolver soluções eficazes com meios próprios.

### **3.3.4. Redefinição da Função do Operador**

Com a nova configuração do espaço de trabalho e do processo produtivo, o operador deixou de executar a inspeção visual peça a peça e passou a:

- Verificar apenas amostras pontuais por lote.
- Analisar as pelas rejeitadas pela máquina (caixa amarela).
- Efetuar o embalamento num posto adjacente à prensa.

- Apoiar, nos períodos livres, a operação de uma máquina de injeção plástica situada imediatamente ao lado da prensa do *Embout*.

Esta polivalência trouxe ganho operacionais, tais como:

- Aumento da produtividade do colaborador.
- Redução da monotonia e sobrecarga cognitiva.
- Melhor gestão de tempo e de tarefas em função do volume de produção.

A conjugação destas ações permitiu transformar uma linha simples e estável numa célula de produção mais eficiente, ergonómica, integrada e com menor risco de erro, constituindo um exemplo concreto da aplicação bem-sucedida da metodologia *Kaizen* num ambiente industrial real.

### **3.4. Aspetos Técnicos da Programação e Automação**

A automatização da inspeção do componente *Embout*, implementada no âmbito do presente projeto *Kaizen*, constituiu uma melhoria técnica e funcional significativa no processo produtivo da SSM. A arquitetura do sistema combina sensores físicos, câmara de visão artificial, eixos com movimento controlado e um PLC responsável por sequenciar os testes, registar os resultados e comandar os atuadores do sistema.

#### **3.4.1. Estrutura Geral do Sistema**

O processo de inspeção automatizado inicia-se após a conformação da peça na prensa hidráulica. A peça é então colocada automaticamente sobre um apoio rotativo, onde é submetida a uma sequência de cinco testes visuais por meio de uma câmara de visão artificial e um sistema de rotação acionado por motor. O PLC controla o avanço da peça através de diversas etapas numeradas, gerindo a lógica de funcionamento com base em condições de sensores digitais. A estrutura está organizada em blocos funcionais, que tratam:

- A comunicação do motor de rotação.
- A lógica do modo automático.
- A comunicação com o sistema de visão artificial.
- O acionamento das válvulas e cilindros pneumáticos.
- A gestão dos sistemas e interface com o operador.

### 3.4.2. Sequência de Inspeção

O programa divide o ciclo de inspeção em etapas lógicas sequenciais, identificadas por números. Abaixo é feita uma descrição do funcionamento de forma simplificada:

- **Etapa 10** – Primeiro teste (peça em repouso): O sistema realiza a primeira captura de imagem com a peça imóvel. A câmara verifica o diâmetro do BLG.
- **Etapas 18 a 20** – Rotação e segundo teste: A peça é rodada para uma nova posição. O segundo teste verifica a presença e forma da gola.
- **Etapas 28 a 30** – Terceiro teste: Após nova rotação, é feita a inspeção da zona central, analisando possíveis deformações.
- **Etapas 38 a 40** – Quarto teste: Foca-se no topo da peça, procurando falhas de corte ou imperfeições.
- **Etapas 48 a 50** – Quinto teste: Avalia-se a ovalização da peça, com base em múltiplas perspectivas obtidas por rotação.

Cada etapa de teste atrás descrita inclui ainda:

- Um comando de disparo de imagem pela câmara.
- Um tempo de espera para processamento da imagem (50 milissegundo (ms)).
- Uma leitura do resultado *OK* ou *NOK*.

A lógica de controlo baseia-se numa programação sequencial estruturada, onde cada passo é validado por condições físicas (estado dos sensores) antes de prosseguir. Esta abordagem garante a segurança do processo, a fiabilidade da decisão e a rastreabilidade dos resultados. A sequência completa da inspeção encontra-se representada nas Figura 3.6 e Figura 3.7.

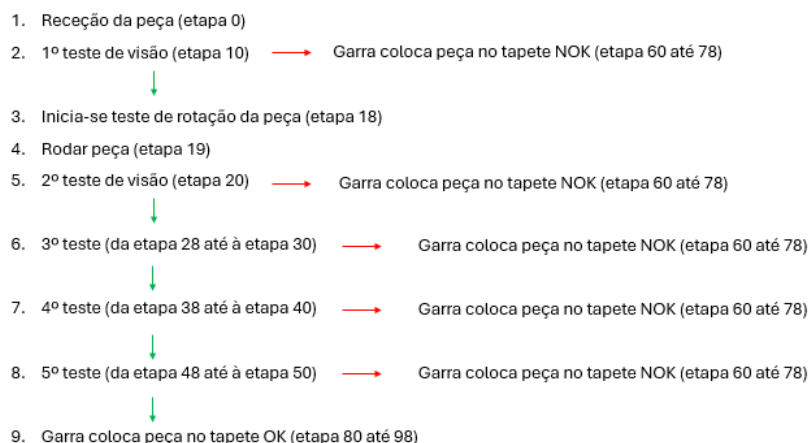


Figura 3.6 - Etapas de Inspeção Automática.

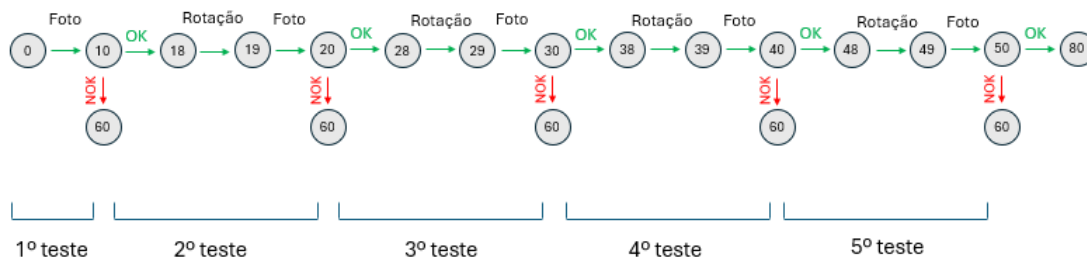


Figura 3.7 - Esquema das Etapas de Inspeção Automática.

### 3.4.3. Tomada de Decisão e Classificação da Peça

A decisão sobre o destino da peça, representada no esquema da Figura 3.8 é tomada com base no resultado da última etapa de teste (Etapa 50).

- Se a peça for considerada *OK*, segue para as etapas 80-98, em que há ativação dos sensores e atuadores pneumáticos que posicionam a peça no batente verde (*OK*) e é enviada para a caixa verde.
- Se a peça for considerada *NOK*, segue para as etapas 60-78, sequência paralela que posiciona a peça no batente amarelo (*NOK*), e é enviada para a caixa amarela, onde será posteriormente inspecionada manualmente pelo operador, para se pode ou não ser reaproveitada.

Além disso, o sistema mantém uma contagem automática das peças *OK* e *NOK* no ecrã do operador, e acende uma luz de aviso quando a caixa estiver cheia, indicando a necessidade de troca.

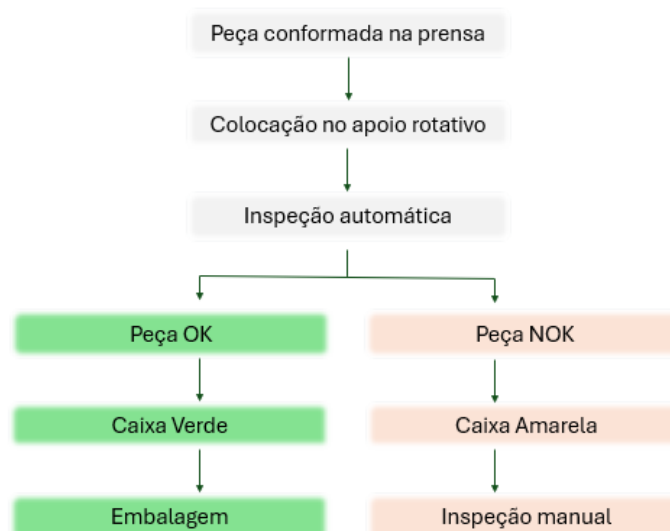


Figura 3.8 - Fluxo de classificação das peças *OK* e *NOK*.

### 3.4.4. Papel dos Sensores de Posição

O correto funcionamento do sistema depende de vários sensores físicos distribuídos pelo sistema, que confirmam a posição de cada componente mecânico. A função principal destes sensores é garantir a segurança e a sincronização de cada movimento. Os principais sensores envolvidos são referidos na Tabela 3.1.

Estes sensores funcionam como os “olhos e os ouvidos” do sistema, evitando que este prossiga para o passo seguinte sem que a etapa anterior tenha sido corretamente concluída, funcionando como sistema de segurança e validação contínua. Caso algum sensor não responda dentro do tempo esperado, o sistema entra em alarme e a célula para automaticamente, evitando danos ou erros.

### 3.4.5. Interface com o Operador

O sistema inclui uma interface simples no painel HMI (Interface Homem-Máquina), onde o operador consegue:

- Acompanhar o número de peças *OK* e *NOK*.
- Receber alertas de alarme quando algum sensor não responde dentro do tempo estipulado.
- Ser avisado quando a caixa de peças estiver cheia e for necessário trocar o recipiente.
- Reiniciar a célula de forma segura após interrupções.

Esta interface facilita o acompanhamento do processo e reduz o tempo de paragem em caso de falha.

Tabela 3.1 - Funcionamento dos sensores de posição.

Sensor	Função	Localização	Quando é ativado?
<b>Sensor de peça presente</b>	Confirma que a peça foi colocada no apoio rotativo	Base do apoio	Antes de iniciar a rotação e os testes
<b>Sensor de rotação OK</b>	Confirma que a rotação da peça foi concluída	Eixo do motor rotativo	Após cada movimento angular
<b>Sensor de cilindro alto/baixo</b>	Garante que o cilindro de retenção está na posição correta	Cilindro que segura a peça	Antes de depois de cada inspeção
<b>Sensor de batente OK</b>	Confirma que a peça foi empurrada para a caixa correta (OK)	Junto ao batente verde	Após a decisão de aceitação
<b>Sensor de batente NOK</b>	Confirma que a peça foi empurrada para a caixa de rejeitados	Junto ao batente amarelo	Após a decisão de rejeição



## 4. Resultados Obtidos

A implementação do projeto *Kaizen* na linha de produção do *Embout* permitiu alcançar resultados relevantes em diversas frentes operacionais, nomeadamente no controlo de qualidade, ergonomia do posto de trabalho, eficiência do processo de embalagem e aproveitamento de recursos humanos.

Os dados recolhidos após a intervenção evidenciam uma melhoria clara na organização e no desempenho da célula produtiva. A seguir, apresentam-se os principais indicadores avaliados e os seus respetivos resultados, sempre em comparação com o cenário anterior à implementação.

### 4.1. Tempo de Inspeção e Embalamento

Antes da automatização, o operador realizava a verificação visual manual a 100% das peças, o que, dependendo do cliente e das exigências de controlo, como pode ser observado na Tabela 4.1, podia implicar também o uso de gabaritos de verificação. Este processo era fisicamente exigente e sujeito a fadiga, o que, em alguns dias com maior volume de produção, exigia a alocação de um segundo operador para apoiar a embalagem, algo que agora não é necessário.

Com a nova célula automatizada, o operador apenas inspeciona 20 peças por saco, o que reduz drasticamente o esforço necessário. Atualmente, o tempo ara embalar um saco de 1500 peças é de 3 minutos e 12 segundos, o que representa uma redução de mais de 95% no tempo de inspeção e embalagem por unidade. Esta melhoria teve impacte direto na libertação do operador, que passou a estra disponível para apoiar outros postos de trabalho, como o da injetora plástica adjacente.

Tabela 4.1 - Tipos de Embalagens do Embout.

<b>Tipo de Inspeção</b>	<b>Peças embaladas / turno (8h)</b>	<b>Nº sacos (1500 un.) / turno</b>	<b>Exigências dos Clientes</b>
<b>Apenas inspeção visual</b>	~9.000 peças	6 sacos	Sem verificação nos gabaritos
<b>Inspeção visual + uso de gabaritos de verificação</b>	~6.000 peças	4 sacos	Clientes com requisitos mais exigentes

A Figura 4.1 apresenta a comparação do tempo médio necessário para embalar um saco 1500 peças, em três situações distintas: antes da intervenção *Kaizen* sem uso e gabaritos, com uso de gabaritos, e após a implementação da inspeção automatizada. Verifica-se uma redução abrupta de mais de 95% no tempo necessário, passando de até 120 minutos para apenas 3 minutos e 12 segundos por saco. Esta melhoria libertou o operador para outras tarefas e eliminou a necessidade de apoio adicional em dias com produção mais elevada.

## 4.2. Capacidade Produtiva e Gestão de Tempo

O tempo de ciclo da prensa, responsável pela conformação do *Embout*, não foi alterado com a intervenção. Este continua a variar entre os 7,8 e 8 segundos por peça, sendo considerado estável e adequado ao processo.

Contudo, é importante destacar que, anteriormente, a única verificação feita nesta fase era o diâmetro do BLG, enquanto atualmente, com a nova célula de inspeção automática, são realizados cinco testes completos por peça, sem afetar o tempo de ciclo da linha. Este avanço representa um ganho qualitativo, já que o controlo de qualidade passou a ser mais rigoroso, sem impactar o ritmo produtivo.

Embora o número total de peças embaladas por dia não tenha variado significativamente, a mudança no processo permitiu reorganizar o fluxo logístico da célula, melhorando a gestão de tempo e aumentando a disponibilidade para responder a picos de produção.

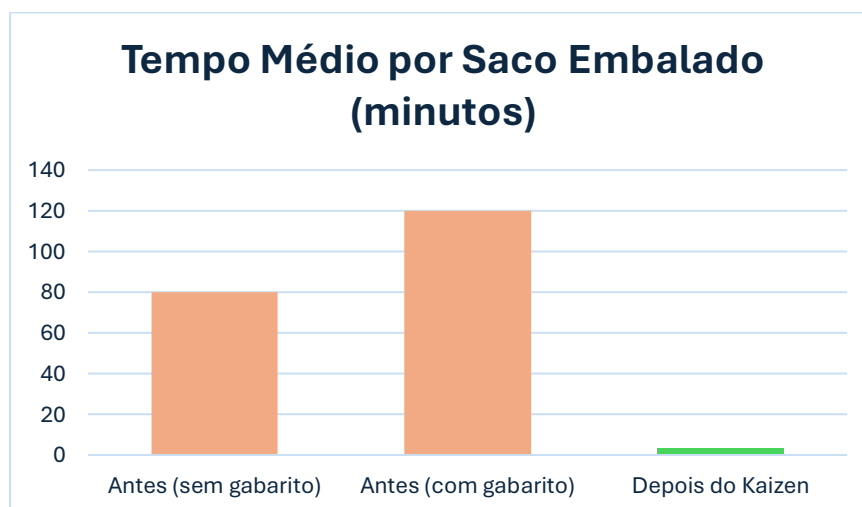


Figura 4.1 - Tempo Médio por Saco Embalado (Minutos).

Um aspeto essencial a destacar é que a inspeção e embalagem anterior ocorria apenas durante o turno da manhã (8h/dia), enquanto a prensa operava em dois turnos (16h/dia). Esta descoordenação criava uma acumulação semanal de peças por inspecionar e embalagem em atraso. Atualmente, como o operador realiza esta tarefa num tempo inferior, as peças zincadas podem ser embaladas de forma rápida e ajustada ao ritmo da produção, o que reduz o tempo de resposta às encomendas dos clientes e coloca a SSM num ambiente industrial mais competitivo.

Como mostra a Figura 4.2, a percentagem de tempo que o operador dedicava exclusivamente ao processo de inspeção e embalagem era superior a 90% antes da intervenção. Após a implementação da célula automatizada, essa ocupação caiu para cerca de 15%, permitindo ao operador dedicar-se a tarefas paralelas, como apoio à injetora adjacente. Esta redistribuição de tarefas resultou num reaproveitamento muito mais eficiente da mão de obra disponível.

### ***4.3. Resultados da Implementação da Inspeção Automática e Reforço do Controlo de Qualidade***

Antes da intervenção, o número de peças *NOK* detetadas pelo operador situava-se entre 10 e 50 peças por dia, dependendo do lote. No entanto, como estas peças só eram separadas após o processo de zincagem, geravam custos associados ao tratamento desnecessário de produtos defeituosos.

Com a nova célula de inspeção automática, o sistema rejeita em média cerca de 900 peças suspeitas por dia, que são colocadas na caixa amarela para verificação manual. Destas, apenas 10 a 20 peças são efetivamente consideradas *NOK*, o que mostra que o sistema está a funcionar com o elevado grau de exigência e sensibilidade, detetando até pequenas irregularidades como limalhas residuais, pequenas rebarbas, impurezas ou imprecisões mínimas de forma.

Embora o número de peças rejeitadas para verificação tenha aumentado, o número de peças realmente rejeitadas manteve-se praticamente inalterado. O ganho está no facto de que, agora, as peças *NOK* já não seguem para zincagem, o que representa uma poupança direta nos custos com tratamento de peças defeituosas e uma melhoria no controlo do processo. Um impacto indireto, mas relevante, da automatização do controlo de qualidade no final da prensa foi a necessidade de reforçar os ensaios de validação da

zincagem, realizados pelo departamento da qualidade no momento da receção das peças tratadas externamente.

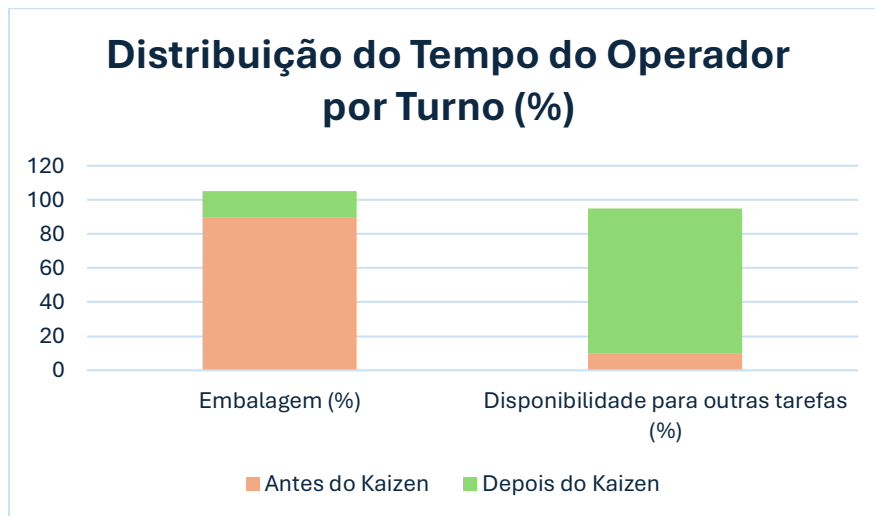


Figura 4.2 - Distribuição do Tempo do Operador por Turno (%).

Anteriormente, o controlo era feito sobre 6 peças por cada 10 lotes recebidos. Este plano de amostragem era considerado suficiente, pois a análise detalhada das peças ocorria após a zincagem, durante a inspeção visual manual. No entanto, com a mudança para o controlo automático que antecede o envio das peças para zincar, torna-se crucial garantir que apenas peças com a devida integridade superficial sejam exportadas ao processo de tratamento.

Por isso, a nova política interna passou a exigir teste de zincagem a cada 25 peças por cada lote, com maior frequência, agora de 5 em 5 lotes. Esta mudança procura garantir que eventuais defeitos de zincagem não passem despercebidos, dado que as peças não serão inspeccionadas manualmente após levarem este revestimento. Os resultados alcançados demonstram a eficácia da aplicação prática da filosofia *Kaizen* e das ferramentas *Lean* na melhoria de processos industriais, mesmo em células produtivas relativamente simples.

Ao manter o ritmo da linha, reforçar o controlo da qualidade, reduzir o esforço humano e reaproveitar recursos exigentes, a solução permitiu ganhos reais e mensuráveis sem necessidade de grandes investimentos. O impacto foi sentido tanto na produtividade do operador, como na qualidade do produto entregue ao cliente e na agilidade da resposta às encomendas. Além disso, a reorganização do *layout*, alinhada à automatização inteligente, contribuiu para um ambiente de trabalho mais ergonómico, limpo e eficiente.

## **4.4. Avaliação Económica**

A avaliação económica de um projeto de melhoria contínua constitui uma etapa fundamental para compreender o impacto real da intervenção e para justificar a sua implementação perante a gestão da empresa. No entanto, como em muitos projetos industriais de curta duração, nem sempre é possível obter todos os dados financeiros de forma detalhada, sobretudo quando se trata de estimar custos indiretos ou benefícios intangíveis. Ainda assim, a análise qualitativa e a projeção baseada em indicadores operacionais permitiram identificar de forma clara os ganhos económicos associados à solução implementada.

### **4.4.1. Custos Associados a Processo Anterior**

Antes da implementação da solução, o processo de inspeção manual exigia a alocação exclusiva de um operador durante todo o turno. Esta prática representava não apenas um custo direto de mão de obra, mas também custos indiretos relacionados com a fadiga, erros humanos e retrabalho. Adicionalmente, a configuração física do posto obrigava a movimentações repetitivas e a tempos de espera associados ao transporte interno de peças, resultando em desperdícios logísticos que, embora de difícil quantificação, afetavam negativamente a eficiência global da linha.

### **4.4.2. Investimento na Solução**

A automatização parcial da inspeção implicou um investimento inicial em equipamentos de visão artificial, reconfigurada do posto de trabalho e pequenas adaptações ao layout fabril. Este investimento, embora limitado quando comparado com soluções de automação mais complexas, deve ser considerado como um custo de capital que a empresa amortizará ao longo do tempo. Importa destacar que, por ter sido realizado com recurso a tecnologia acessível e a recursos internos de programação e intervenção, o valor global do investimento manteve-se controlado.

### **4.4.3. Benefícios Diretos**

Os principais benefícios económicos resultam da poupança em mão de obra, pela libertação do operador anteriormente dedicado exclusivamente à inspeção manual. Este recurso pôde ser alocado a tarefas de maior valor acrescentado, traduzindo-se num aproveitamento mais eficiente das competências disponíveis.

Para além disso, a redução do tempo de ciclo contribuiu para um aumento da capacidade produtiva diária da linha, permitindo responder com maior flexibilidade às encomendas dos clientes sem necessidade de reforço de recursos. Finalmente, a diminuição do risco de falhas humanas no processo de inspeção reduz significativamente os custos associados a devoluções, não conformidades e retrabalho. A Figura 4.3 ilustra visualmente os ganhos, reforçando a análise dos benefícios diretos.

### **4.4.4. Benefícios Indiretos**

Entre os benefícios indiretos destacam-se:

- A melhoria ergonómica do posto de trabalho, que reduz potenciais custos associados a problemas de saúde ocupacional;
- O aumento da motivação dos colaboradores, ao serem libertos de uma tarefa repetitiva e fisicamente desgastante;
- A maior fiabilidade no controlo de qualidade, que fortalece a confiança dos clientes e contribui para a imagem da empresa enquanto fornecedor de excelência.

A representação gráfica da Figura 4.4 evidencia a melhoria de indicadores-chave, servindo de apoio à argumentação dos benefícios indiretos.

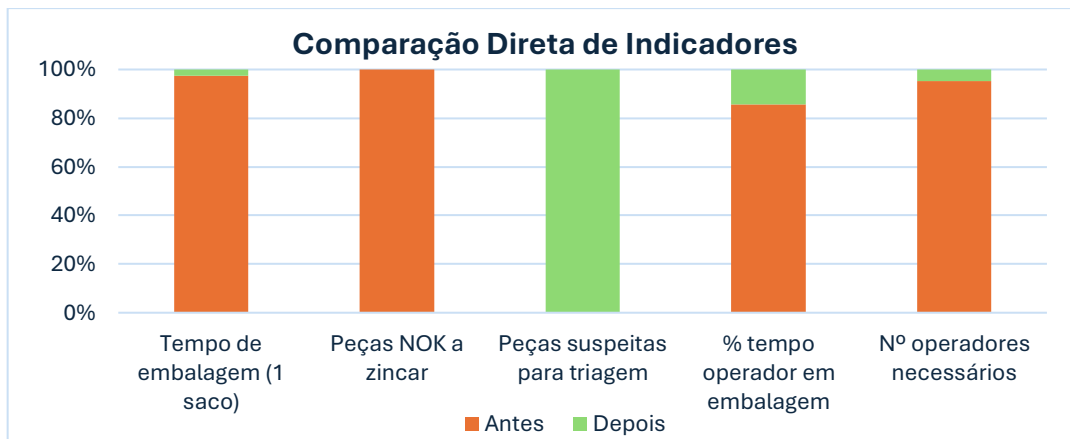


Figura 4.3 - Comparação Direta de Indicadores Antes vs. Depois.

#### 4.4.5. Retorno Esperado e Limitações da Avaliação

Apesar de não terem sido disponibilizados dados financeiros suficientes para calcular indicadores clássicos de rentabilidade como o *Payback Period* ou o *ROI*, é possível afirmar que a relação e o esforço da qualidade traduzem-se em ganhos mensuráveis de produtividade, enquanto a diminuição de desperdícios contribui para um funcionamento mais sustentável da linha. Estima-se que o investimento possa ser recuperado num curto espaço de tempo, sobretudo se a solução vier a ser aplicada em outras linhas de produção.

A Figura 4.5 traduz de forma gráfica a evolução dos ganhos económicos esperados ao longo do tempo, sustentando a análise do retorno. A análise não contempla de forma detalhada todos os custos operacionais, como a manutenção preventiva dos equipamentos de visão artificial ou a formação necessária aos operadores. Contudo, estes elementos são de reduzida expressão face aos benefícios alcançados, não comprometendo a viabilidade económica do projeto.

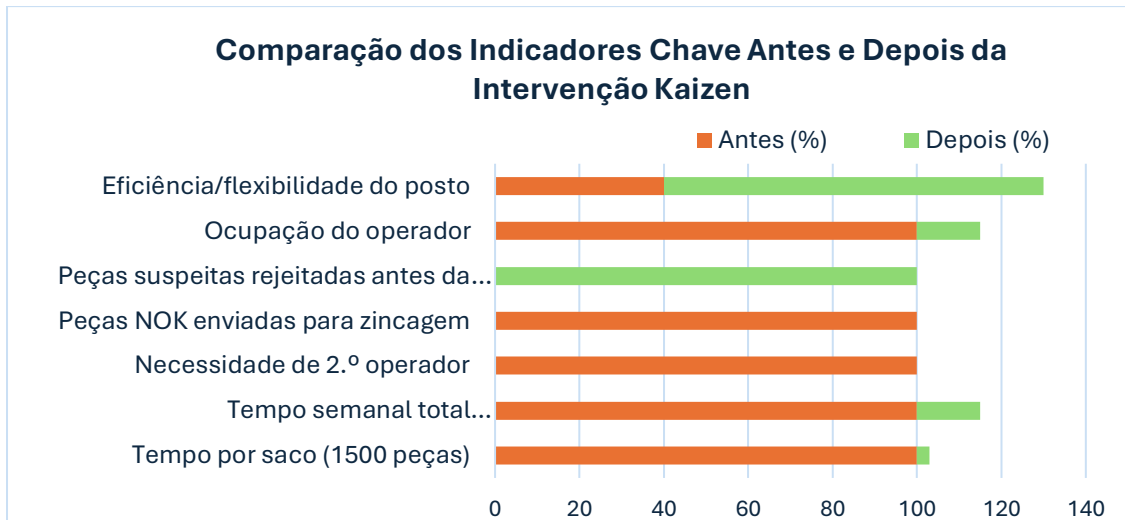


Figura 4.4 - Comparação dos Indicadores Chave Antes e Depois da Intervenção Kaizen.



Figura 4.5 - Perfil dos Ganhos do Projeto.

## **5. Conclusão e Considerações Finais**

O presente trabalho teve como objetivo aplicar os princípios da filosofia Kaizen no processo de inspeção do componente Embout, produzido na SODECIA Safety & Mobility – SSM Guarda, S.A. A intervenção centrou-se na automatização parcial da inspeção de qualidade através da introdução de um sistema de visão artificial, aliada à reorganização do posto de trabalho e à redefinição das funções do operador.

A análise inicial revelou limitações significativas, sobretudo pela dependência de um operador exclusivo, pela elevada carga física e cognitiva da tarefa, pela suscetibilidade a falhas humanas e pelos desperdícios logísticos decorrentes do layout. A solução implementada demonstrou que, mesmo com recursos tecnológicos acessíveis e de baixo custo, é possível alcançar ganhos relevantes de eficiência, produtividade e qualidade.

### **5.1. Principais Conclusões**

- Redução do tempo de inspeção: a automatização permitiu encurtar o ciclo de controlo, aumentando a capacidade produtiva da linha;
- Libertação de recursos humanos: o operador deixou de estar alocado exclusivamente à inspeção manual, podendo ser redirecionado para funções de maior valor acrescentado;
- Melhoria da qualidade: a redução de falhas humanas e o reforço do controlo automatizado aumentaram a fiabilidade dos resultados, diminuindo potenciais custos de retrabalho e devoluções;
- Benefícios ergonómicos e motivações: a eliminação de tarefas repetitivas e desgastantes promoveu melhores condições de trabalho e maior satisfação dos colaboradores;
- Viabilidade económica: ainda que sem cálculo formal de indicadores financeiros, a análise qualitativa demonstra que os benefícios diretos e indiretos superam largamente o investimento realizado.

Em resumo, a aplicação da filosofia Kaizen mostrou-se eficaz, não apenas pela melhoria pontual no processo em estudo, mas sobretudo por reforçar uma cultura organizacional de inovação, simplicidade e participação ativa das equipas.

## **5.2. Limitações do Estudo**

Apesar dos resultados positivos, importa reconhecer algumas limitações:

- A análise económica foi realizada de forma qualitativa, dado não estarem disponíveis todos os dados financeiros;
- O projeto incidiu apenas sobre uma linha de produção, pelo que a replicabilidade a outras áreas deve ser avaliada caso a caso;
- A solução tecnológica requer manutenção preventiva e formação contínua dos operadores para garantir a sua fiabilidade a longo prazo.

Estas limitações, no entanto, não comprometem a validade do projeto, mas reforçam a importância de dar continuidade ao trabalho iniciado.

## **5.3. Perspetivas de Melhoria Futura**

Para além da solução implementada, identificam-se oportunidades de evolução que podem alavancar ainda mais os ganhos obtidos:

1. Integração digital com sistemas de produção: A ligação do sistema de visão artificial às plataformas digitais da empresa permitiria monitorizar indicadores de qualidade em tempo real, aumentando a rastreabilidade e acelerando a tomada de decisão;
2. Utilização de inteligência artificial na inspeção: A introdução de algoritmos de *machine learning* poderia tornar o sistema de visão mais robusto, capaz de aprender com novas ocorrências e adaptar-se a diferentes padrões de defeitos;
3. Expansão do conceito a outras linhas produtivas: O modelo desenvolvido é replicável noutras áreas da fábrica que apresentem tarefas repetitivas de inspeção ou controlo de qualidade manual, potenciando economias de escala;
4. Monitorização ergonómica e saúde ocupacional: A libertação do operador abre caminho para novas análises de ergonomia, com recurso a sensores de movimento ou *wearables*, prevenindo problemas de saúde ocupacional e reforçando o bem-estar dos colaboradores;
5. Integração com manutenção preditiva: Os dados recolhidos pelo sistema de visão artificial poderiam também ser utilizados para identificar sinais de desgaste ou falhas nos equipamentos, apoiando práticas de manutenção preditiva e reduzindo tempos de paragem não planeada.

## 6. Bibliografia

- Amasaka, K. (2002) “New JIT”: A new management technology principle at Toyota’, *International Journal of Production Economics*, 80(2), pp. 135–144. doi: 10.1016/S0925-5273(02)00313-4.
- Anosike, A. *et al.* (2021) ‘Lean manufacturing and internet of things – A synergetic or antagonist relationship?’, *Computers in Industry*, 129, p. 103464. doi: 10.1016/j.compind.2021.103464.
- Azamfirei, V., Psarommatis, F. and Lagrosen, Y. (2023) ‘Application of automation for in-line quality inspection, a zero-defect manufacturing approach’, *Journal of Manufacturing Systems*, 67(December 2022), pp. 1–22. doi: 10.1016/j.jmsy.2022.12.010.
- Bortolotti, T., Boscari, S. and Danese, P. (2015) ‘Successful lean implementation: Organizational culture and soft lean practices’, *International Journal of Production Economics*, 160, pp. 182–201. doi: 10.1016/j.ijpe.2014.10.013.
- Ching, N. T. *et al.* (2022) ‘Industry 4.0 applications for sustainable manufacturing: A systematic literature review and a roadmap to sustainable development’, *Journal of Cleaner Production*, 334(December 2021), p. 130133. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.130133.
- Chotaliya, M. and Mehta, B. A. (2022) ‘Research Article Kaizen Techniques : a Literature Review’, *International Journal of Current Research*, 14(01), p. pp.20325-20329. doi: 10.24941/ijcr.42900.01.2022.
- Cifone, F. D. *et al.* (2021) “Lean 4.0”: How can digital technologies support lean practices?’, *International Journal of Production Economics*, 241(August), p. 108258. doi: 10.1016/j.ijpe.2021.108258.
- Ciliberto, C. *et al.* (2021) ‘Enabling the Circular Economy transition: a sustainable lean manufacturing recipe for Industry 4.0’, *Business Strategy and the Environment*, 30(7), pp. 3255–3272. doi: 10.1002/bse.2801.
- Costa, F. *et al.* (2024) ‘Integrating industry 4.0 and lean manufacturing for a sustainable green transition: A comprehensive model’, *Journal of Cleaner Production*, 465(November 2023), p. 142728. doi: 10.1016/j.jclepro.2024.142728.
- Dantas, T. E. T. *et al.* (2021) ‘How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals’, *Sustainable Production and Consumption*, 26, pp. 213–227. doi: 10.1016/j.spc.2020.10.005.
- Deshmukh, M. *et al.* (2022) ‘Study and implementation of lean manufacturing strategies: A literature review’, *Materials Today: Proceedings*, 62, pp. 1489–1495. doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.155.

- Díaz-Reza, J. R. *et al.* (2024) 'Lean manufacturing tools as drivers of social sustainability in the Mexican maquiladora industry', *Computers and Industrial Engineering*, 196(August). doi: 10.1016/j.cie.2024.110516.
- Dombrowski, U., Richter, T. and Krenkel, P. (2017) 'Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis', *Procedia Manufacturing*, 11(June), pp. 1061–1068. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.217.
- Falana, O., Durodola, O. and Oladipupo, O. (2022) 'Graduate Research Paper on Summary of Kaizen / Continuous Improvement Olumide Babatope Falana , Olamide Durodola , Olutade Oladipupo', (July), pp. 0–7. doi: 10.13140/RG.2.2.21692.92807.
- Farris, J. A. *et al.* (2009) 'Critical success factors for human resource outcomes in Kaizen events: An empirical study', *International Journal of Production Economics*, 117(1), pp. 42–65. doi: 10.1016/j.ijpe.2008.08.051.
- Gatell, I. S. and Avella, L. (2024) 'Impact of Industry 4.0 and circular economy on lean culture and leadership: Assessing digital green lean as a new concept', *European Research on Management and Business Economics*, 30(1), p. 100232. doi: 10.1016/j.iedeen.2023.100232.
- Gebeyehu, S. G., Abebe, M. and Gochel, A. (2022) 'Production lead time improvement through lean manufacturing', *Cogent Engineering*, 9(1). doi: 10.1080/23311916.2022.2034255.
- Guimarães, A. *et al.* (2025) 'Effects of Lean Tools and Industry 4.0 technology on productivity: An empirical study', *Journal of Industrial Information Integration*, 44(December 2024), p. 100787. doi: 10.1016/j.jii.2025.100787.
- Hossen Irfan, M. T., Rafiquzzaman, M. and Manik, Y. A. (2025) 'Productivity improvement through lean tools in cement industry – A case study', *Heliyon*, 11(3), p. e42057. doi: 10.1016/j.heliyon.2025.e42057.
- Ikumapayi, O. M. *et al.* (2019) 'Six sigma versus lean manufacturing - An overview', *Materials Today: Proceedings*, 26, pp. 3275–3281. doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.986.
- Inas, H. and Madiha, B. (2024) 'The impact of the Kanban model on Toyota 's agility', (July). doi: 10.34118/djei.v15i2.3926.
- Kumar, N. *et al.* (2022) 'Lean manufacturing techniques and its implementation: A review', *Materials Today: Proceedings*, 64, pp. 1188–1192. doi: 10.1016/j.matpr.2022.03.481.
- Kumar, S. R. *et al.* (2020) 'Productivity enhancement and cycle time reduction in toyota production system through jishuken activity - Case study', *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), pp. 964–966. doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.181.
- Liker, J. K. (2006) *The Toyota Way:14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*.
- Mamede, H. S. *et al.* (2023) 'Heliyon A lean approach to robotic process automation in banking', *Heliyon*, 9(7), p. e18041. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18041.

- Marinelli, M. *et al.* (2021) 'Lean manufacturing and industry 4.0 combinative application: Practices and perceived benefits', *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), pp. 288–293. doi: 10.1016/j.ifacol.2021.08.034.
- Moita, A., Lopes, J. C. and Mendes, J. Z. (2024) 'Circular economy and sustainability: The case of the automotive industry in Portugal', *Innovation and Green Development*, 3(4). doi: 10.1016/j.igd.2024.100177.
- Möldner, A. K., Garza-Reyes, J. A. and Kumar, V. (2020) 'Exploring lean manufacturing practices' influence on process innovation performance', *Journal of Business Research*, 106(October 2018), pp. 233–249. doi: 10.1016/j.jbusres.2018.09.002.
- Mostafa, S. and Dumrak, J. (2015) 'Waste Elimination for Manufacturing Sustainability', *Procedia Manufacturing*, 2(February), pp. 11–16. doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.003.
- Palange, A. and Dhattrak, P. (2021) 'Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing', *Materials Today: Proceedings*, 46, pp. 729–736. doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.193.
- Pinto, G. F. L. *et al.* (2019) 'Continuous improvement in maintenance: A case study in the automotive industry involving Lean tools', *Procedia Manufacturing*, 38(2019), pp. 1582–1591. doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.127.
- Powell, D. J. (2018) 'Kanban for Lean Production in High Mix, Low Volume Environments', *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp. 140–143. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.248.
- Rajab, S., Afy-Shararah, M. and Salonitis, K. (2022) 'Using Industry 4.0 Capabilities for Identifying and Eliminating Lean Wastes', *Procedia CIRP*, 107(March), pp. 21–27. doi: 10.1016/j.procir.2022.04.004.
- Singh, J. and Singh, H. (2009) 'Kaizen Philosophy: A Review of Literature.', *ICFAI Journal of Operations Management*, 8(2), pp. 51–72. Available at: <http://o-search.ebscohost.com.aupac.lib.athabascau.ca/login.aspx?direct=true&AuthType=url,ip,uid&db=bth&AN=39231631&site=ehost-live>.
- Sundararajan, N. and Terkar, R. (2022) 'Materials Today : Proceedings Improving productivity in fastener manufacturing through the application of Lean-Kaizen principles', *Materials Today: Proceedings*, 62, pp. 1169–1178. doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.350.
- Washizu, A. and Nakano, S. (2022) 'Exploring the characteristics of smart agricultural development in Japan : Analysis using a smart agricultural kaizen level technology map', *Computers and Electronics in Agriculture*, 198(March), p. 107001. doi: 10.1016/j.compag.2022.107001.