



SAMUEL JOÃO TRIGO BARROSO

Licenciado em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Proposta de Modelo *Lean* para Eliminar
Problemas e Reduzir Desperdícios – Estudo
de Caso numa Fábrica Metalúrgica

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2023



Proposta de Modelo *Lean* para Eliminar Problemas e Reduzir Desperdícios – Estudo de Caso numa Fábrica Metalúrgica

SAMUEL JOÃO TRIGO BARROSO

Licenciado em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Doutor Radu Godina,
Professor Auxiliar, NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA

Júri:

Presidente: Doutora Ana Sofia Leonardo Vilela de Matos,
Professora Associada, NOVA School of Science and Technology
| FCT NOVA

Arguente: Doutor André Mendes de Carvalho,
Professor Auxiliar, NOVA School of Science and Technology | FCT
NOVA

Vogal: Doutor Radu Godina,
Professor Auxiliar, NOVA School of Science and Technology | FCT
NOVA

Proposta de Modelo *Lean* para Eliminar Problemas e Reduzir Desperdícios – Estudo de Caso numa Fábrica Metalúrgica

Copyright © Samuel João Trigo Barroso, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Este documento foi criado com o processador de texto Microsoft Word e o template NOVAThesis Word.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação constitui a etapa final de um longo percurso, na qual manifesto os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que dele fizeram parte.

Ao meu orientador, Professor Doutor Radu Godina, por todos os ensinamentos transmitidos, orientação e contribuições ao longo deste período.

À administração da ELO–Automotive, pela disponibilidade demonstrada para me receber nesta organização de prestígio. Expresso os meus agradecimentos a todos os colaboradores com os quais tive oportunidade de privar, sempre com boa disposição e com manifestas contribuições para o sucesso do meu trabalho durante o período do estágio. Em especial, agradeço ao Eng.º Pedro Lança e à Florbela Couraça, por toda a ajuda, conselhos e cedência de informação.

Aos meus amigos e conhecidos, que também tiveram o seu contributo, principalmente nos momentos de descontração, também eles necessários. Ao grupo Dissertadores, pelo apoio, força e compreensão.

À minha família mais próxima, aos meus pais, avós, irmã e madrinha, pelo apoio incondicional, valores transmitidos, e por todos os esforços e sacrifícios que fizeram para me proporcionar as melhores condições possíveis. Dizem que “Estudar é a chave para o sucesso”, e se o alcançar será graças a vocês.

À minha namorada, pela inestimável compreensão e amor constante, que permitiram fazer este percurso numa viagem menos atribulada do que seria expectável.

Por fim, sendo este o desfecho da minha jornada académica, agradeço a todos os meus Professores, “fonte” de parte do meu conhecimento. Ensinaram-me tudo o que sabiam e incentivaram-me a descobrir o que desconheciam.

A todos vós, o meu sincero OBRIGADO!

"It always seems impossible until it's done." – (Nelson Mandela)

RESUMO

Na atualidade, com a crescente competitividade e concorrência, existe uma pressão constante para que as empresas se adaptem e evoluam. Os requisitos dos clientes são cada vez mais exigentes e novos paradigmas socioeconômicos têm contribuído para a procura pela melhoria contínua nas organizações. No setor industrial, a filosofia *Lean*, a partir da identificação e eliminação dos desperdícios, assume um papel preponderante como meio para atingir o objetivo de aumentar a produtividade e a eficiência dos processos.

Neste contexto, a principal finalidade da presente dissertação é conceber um modelo que permita identificar a área fabril onde se verificam mais desperdícios (setor crítico). Para além disso, pretende-se identificar e priorizar problemas, promovendo a sua eliminação através da implementação do *Lean*. Este modelo integra diferentes tipos de ferramentas e considera uma nova abordagem à Casa da Qualidade. Contempla seis etapas, em que o *feedback* dos colaboradores da organização e o mapeamento do estado atual, através do *Value Stream Mapping* (VSM), permitem a identificação do setor crítico. Posteriormente, realiza-se um levantamento exaustivo de problemas, seguido pela sua priorização e identificação das causas-raiz. Através destas, as ferramentas *Lean* mais adequadas são implementadas, contribuindo para a disseminação e sustentação de uma cultura de melhoria contínua na organização.

O estudo inerente à aplicação do modelo insere-se numa fábrica metalúrgica da indústria automóvel, que se dedica ao fabrico e venda de molas de suspensão. É aplicado com o intuito de reduzir os desperdícios e efetuar melhorias. Este trabalho enfatiza a relevância da priorização de setores e problemas para ultrapassar as constantes adversidades decorrentes da limitação de recursos. Os resultados obtidos, embora careçam de mais tempo para validação e um acompanhamento contínuo do processo, apontam para uma diminuição dos desperdícios e aumento da produtividade.

Palavras-chave: *Lean*, Melhoria Contínua, QFD, VSM, SMED

ABSTRACT

Nowadays, with increasing competitiveness and competition, there is constant pressure for companies to adapt and evolve. Customer requirements are increasingly demanding, and new socioeconomic paradigms have contributed to the pursuit of continuous improvement in the organizations. In the industrial sector, the Lean philosophy, through the identification and elimination of waste, have been emerging to achieve the goal of enhancing productivity and process efficiency.

In this context, the main purpose of this master thesis is to design a new model that enables the identification of the manufacturing area where the most waste occurs (critical sector). Furthermore, it aims to identify and prioritize problems, facilitating their elimination through the implementation of Lean. This model integrates different tools and considers a new approach to the House of Quality. It considers six stages, in which the feedback from the organization and mapping the current state with the Value Stream Mapping (VSM) enables the identification of the critical sector. Subsequently, an exhaustive survey of issues is conducted, followed by its prioritization and identification of root causes. Through these, the most suitable Lean tools are implemented, contributing to the dissemination and sustainability of a culture of continuous improvement within the organization.

The study inherent to the application of the model takes place in a metallurgical automotive industry plant, which produces and sells suspension springs. It is applied with the intention of reducing waste and carrying out improvements. This work emphasizes the importance of prioritizing sectors and problems to overcome the constant challenges resulting from limited resources. The results obtained, although require more time to verify the results and the continuous monitoring of the process, indicate a decrease in waste and an increase in productivity.

Keywords: Lean, Continuous Improvement, QFD, VSM, SMED

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Metodologia de Investigação.....	3
1.4	Organização do documento	4
1.5	Notação	5
2	LEAN METODOLOGIAS DE APOIO	7
2.1	Origem do <i>Lean</i>	7
2.2	"Casa" TPS.....	8
2.2.1	<i>Just in Time</i>	9
2.2.2	<i>Jidoka</i>	10
2.3	Princípios <i>Lean</i>	10
2.4	<i>Mura, Muri e Muda</i>	11
2.5	<i>Kaizen</i>	13
2.6	Benefícios e Barreiras da Implementação do <i>Lean</i>	14
2.7	<i>Lean</i> na Indústria Metalúrgica Automóvel	15
2.8	Ferramentas <i>Lean</i>	16
2.8.1	<i>Value Stream Mapping</i>	16
2.8.2	<i>Single-Minute Exchange of Dies</i>	18
2.8.3	5S.....	20

2.8.4	Gestão Visual	21
2.8.5	<i>Standardized Work</i>	22
2.8.6	<i>Genchi Genbutsu</i>	22
2.8.7	<i>Gemba Walk</i>	23
2.8.8	<i>Total Productive Maintenance</i>	23
2.8.9	<i>Design do layout</i>	24
2.8.10	<i>5 Whys</i>	26
2.9	Ferramentas e técnicas de apoio.....	26
2.9.1	<i>Quality Function Deployment</i>	26
2.9.2	Princípio de Pareto	27
2.9.3	<i>Brainstorming</i>	28
3	INTRODUÇÃO AO ESTUDO DE CASO	29
3.1	Indústria Automóvel.....	29
3.2	Indústria Automóvel – O Caso Português	31
3.3	Molas de Suspensão	32
3.4	Caracterização da empresa	33
3.4.1	Enquadramento histórico e cultura organizacional.....	33
3.4.2	Caracterização dos produtos e processos.....	34
4	PROPOSTA DE UM NOVO MODELO ESTRUTURADO <i>LEAN</i> PARA ELIMINAR PROBLEMAS E REDUZIR DESPERDÍCIOS.....	39
4.1	Caracterização de modelos existentes.....	39
4.2	Lacunas e limitações dos modelos existentes.....	41
4.3	Apresentação do modelo estruturado proposto.....	42
4.3.1	Etapa 1: Identificação do setor crítico	44
4.3.2	Etapa 2: Identificação de problemas.....	45
4.3.3	Etapa 3: Identificação dos problemas principais.....	46
4.3.4	Etapa 4: Análise das causas-raiz.....	49

4.3.5	Etapa 5: Implementação do <i>Lean</i>	49
4.3.6	Etapa 6: Análise dos resultados	50
5	APLICAÇÃO DO MODELO ESTRUTURADO.....	53
5.1	Etapa 1: Identificação do setor crítico	53
5.1.1	Análise geral preliminar e caracterização do sistema	53
5.1.2	VSM.....	55
5.2	Etapa 2: Identificação de problemas.....	57
5.2.1	Caracterização do setor	57
5.2.2	Recolha de dados.....	61
5.3	Etapa 3: Identificação dos problemas principais.....	62
5.4	Etapa 4: Análise das causas-raiz	66
5.5	Etapa 5: Implementação do <i>Lean</i>	67
5.5.1	<i>Redesign</i> do <i>layout</i>	68
5.5.2	SMED	71
5.5.3	<i>Standardized Work</i>	83
5.5.4	<i>Kaizen</i>	84
5.5.5	TPM	86
5.5.6	5S.....	88
5.5.7	Gestão Visual	92
5.6	Etapa 6: Análise dos resultados	93
5.7	Discussão final	95
6	CONCLUSÃO	97
6.1	Síntese conclusiva	97
6.2	Trabalhos futuros	99
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
	APÊNDICES E ANEXOS.....	108
	Apêndice A – VSM do estado atual	109

Apêndice B – Questionário operadores	110
Apêndice C – Registo de problemas identificados (exemplos)	112
Apêndice D – VSM do estado atual (com <i>kaizen bursts</i>).....	113
Apêndice E – Listagem do Estágio 0 do SMED.....	114
Apêndice F – Ferramentas essenciais de <i>setup</i>	117
Apêndice G – <i>Checklist 5S</i>	118
Anexo A – Utilização dos diferentes cavilhões	119
Anexo B – TPM de 1º nível	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 – A "casa" TPS	9
Figura 2-2 – Representação padrão de um VSM	17
Figura 2-3 – Representação do tempo de <i>setup</i>	19
Figura 2-4 – Representação da Casa da Qualidade.....	27
Figura 3-1 – Exemplo de um modelo tridimensional de uma mola parabólica em formato de Z	32
Figura 3-2 – Molas fabricadas: 1. Parabólicas; 2. Convencionais; 3. Pneumáticas	35
Figura 3-3 – Processos produtivos (Molas Pneumáticas/Em análise).....	38
Figura 4-1 – Modelo estruturado proposto para redução de desperdícios através da eliminação de problemas para promoção da cultura <i>Lean</i>	43
Figura 5-1 – Somatório dos tempos de ciclo dos setores em relação ao <i>takt time</i>	56
Figura 5-2 – <i>Layout</i> completo bidimensional do setor de Enrolamento Mestra (310).....	60
Figura 5-3 – Casa da Qualidade adaptada com os diversos problemas identificados	63
Figura 5-4 – Diagrama de Pareto dos problemas.....	65
Figura 5-5 – Distribuição dos tempos despendidos pelo Operador A no processo de <i>setup</i> ..	76
Figura 5-6 – Distribuição dos tempos despendidos pelo Operador B no processo de <i>setup</i> ..	76
Figura 5-7 – Carro de transporte para lâminas proposto	82
Figura 5-8 – Procedimentos para a troca do cavilhão.....	84
Figura 5-9 – Metodologia para aplicação do evento <i>Kaizen</i>	86
Figura 5-10 – Material e ferramentas desnecessárias existente nos setores de Enrolamento Mestra e de Enrolamento Segundas.....	89
Figura 5-11 – Fase de Separação na zona dos controladores: (A) Antes e (B) Depois	90
Figura 5-12 – Fase de organização na bancada de ferramentas: (A) Antes e (B) Depois.....	91
Figura 5-13 – <i>Template</i> cartão <i>Kamishibai</i> 5S	93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 – Relação entre as barreiras e os fatores críticos de sucesso do Lean	15
Tabela 4-1 – Etapa 1 do modelo estruturado proposto.....	44
Tabela 4-2 – Etapa 2 do modelo estruturado proposto.....	45
Tabela 4-3 – Sugestão para recolha de informações.....	46
Tabela 4-4 – Etapa 3 do modelo estruturado proposto.....	47
Tabela 4-5 – Etapa 4 do modelo estruturado proposto.....	49
Tabela 4-6 – Etapa 5 do modelo estruturado proposto.....	49
Tabela 4-7 – Etapa 6 do modelo estruturado proposto.....	50
Tabela 5-1 – Resumo das dificuldades dos setores de maior importância.....	54
Tabela 5-2 – Tempos de ciclos cronometrados por equipamento.....	56
Tabela 5-3 – Equipamentos do Setor de Enrolamento Mestra (310)	58
Tabela 5-4 – Importância de cada um dos desperdícios.....	65
Tabela 5-5 – Análise 5 <i>Whys</i>	66
Tabela 5-6 – Ferramentas <i>Lean</i> sugeridas.....	67
Tabela 5-7 – Modelos simulados: A) <i>Layout</i> atual B) <i>Layout</i> proposto	70
Tabela 5-8 – Parâmetros obtidos considerando os 2 modelos	70
Tabela 5-9 – Ocorrências das diferentes referências	72
Tabela 5-10 – Tempos totais despendidos em cada operação durante os 5 meses analisados	73
Tabela 5-11 – Frequências e número médio de <i>setups</i> durante os 5 meses analisados.....	73
Tabela 5-12 – Evolução de tempos de <i>setup</i> entre o estágio 0 e o estágio 1	77
Tabela 5-13 – Listagem Estágio 1 do SMED.....	78

GLOSSÁRIO

<i>Gemba</i>	Local "real" onde as operações decorrem
<i>Gemba Walk</i>	Visita e observação do local de trabalho
<i>Genchi Genbutsu</i>	Observar o trabalho numa localização específica ("ir ver")
<i>Jidoka</i>	Autonomação
<i>Kamishibai</i>	Ferramenta de gestão visual para auditorias
<i>Kaizen</i>	Cultura de melhoria contínua
<i>Muda</i>	"Desperdício": atividade ou processo que não agrega valor ao produto final
<i>Mura</i>	Inconsistência da produção
<i>Muri</i>	Sobrecarga da produção
<i>Takt Time</i>	Cadência desejada da produção para cumprir com a procura

SIGLAS

5S	<i>Seiri – Seiton – Seiso – Seiketsu – Shitsuke</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FMEA	<i>Failure Mode & Effects Analysis</i>
HOQ	<i>House of Quality</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIT	<i>Just In Time</i>
LIFO	<i>Last In, First Out</i>
MRP	<i>Material Requirements Planning</i>
OF	Ordem de Fabrico
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
PLT	<i>Process Lead Time</i>
PMEs	Pequenas e Médias Empresas
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
SLP	<i>Systematic Layout Planning</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Dies</i>
TCT	<i>Total Cycle Time</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório é efetuado um enquadramento da temática abordada, descrição dos objetivos e apresentação da metodologia aplicada na presente dissertação. Por fim, é descrita a organização do documento e apresentada a notação utilizada.

1.1 Enquadramento

Com a evolução da produtividade e globalização, verifica-se uma maior exigência para que todos os setores de atividade se adaptem, especialmente a indústria. Embora este setor já sofresse de uma constante pressão financeira e tecnológica, atualmente, verifica-se uma imposição rigorosa da sociedade para que se torne mais eficiente e sustentável [1]. Esta adaptação só é conseguida através da utilização de processos e sistemas cada vez mais eficientes, que permitam obter o maior retorno financeiro possível.

Devido ao ambiente competitivo que enfrentam, as organizações devem disponibilizar os seus bens e serviços com a máxima qualidade exequível e, simultaneamente, reduzir ao mínimo os custos envolvidos [2]. A indústria automóvel encontra-se inserida neste ambiente, constituindo uma quota significativa em termos do produto interno bruto de diversos países. O período caracterizado pela pandemia de COVID-19 e problemas nas cadeias de abastecimento constituiu um obstáculo ao crescimento contínuo desta indústria. Contudo, já se verificavam desafios críticos antes do início da pandemia [3]. Por sua vez, a indústria metalúrgica encontra-se interligada com a automóvel, sendo responsável pelo fornecimento de diversas matérias-primas e componentes. A indústria metalúrgica possui características bastante próprias, como um período longo para retorno do investimento e inflexibilidade na alteração da estrutura de produção, dificultando a implementação de novas metodologias [2].

No Japão, após a Segunda Guerra Mundial observava-se, por um lado, baixos níveis de procura e, por outro, elevados níveis de competitividade, especialmente com a concorrência americana. Estes fatores potenciaram uma oportunidade na indústria automóvel para que a Toyota Motor Systems desenvolvesse uma nova abordagem de fabrico, o *Toyota Production System* (TPS) [4]. Esta abordagem evoluiu para o que hoje é conhecido como *Lean*. O objetivo do *Lean* é aumentar a eficiência dos processos, através da melhoria das atividades que acrescentam valor e redução dos desperdícios, assente numa valorização dos recursos humanos [5].

A implementação do *Lean* exige uma filosofia de melhoria contínua, com o objetivo final de atingir a perfeição. O envolvimento e participação de todos os colaboradores é fundamental, permitindo o aumento da eficiência e da produtividade [6]. Num período em que tecnologias inovadoras e termos como Indústria 4.0 são cada vez mais comuns, é importante não esquecer o fator humano na aplicação do *Lean*. A participação ativa de todos os colaboradores de uma organização, desde os operadores à gestão de topo, é essencial para o sucesso da aplicação desta filosofia. Na literatura, é possível encontrar descritos os efeitos positivos da adoção de diversas ferramentas da filosofia *Lean*, para além da redução dos desperdícios e de atividades de valor não acrescentado. Destacam-se a melhoria na qualidade dos produtos, mudanças culturais, aumento da segurança e redução da fadiga e *stress*. Não obstante, existem diversas barreiras na implementação do *Lean* [6]. A sua implementação bem-sucedida acontece essencialmente em grandes empresas, como multinacionais, enquanto no caso das pequenas e médias empresas (PMEs) existe ainda apreensão e insucesso na sua adoção [7].

Este estudo pretende, tendo em conta as oportunidades de melhoria alcançadas com a implementação da filosofia *Lean*, propor um novo modelo. A base deste novo modelo é a identificação de uma área produtiva (setor crítico), onde o impacto dos desperdícios é mais acentuado. A eliminação dos desperdícios existentes no setor crítico contribui para o aumento da produtividade na organização. Subsequentemente, são caracterizados e priorizados os problemas que decorrem no ambiente deste setor. Após determinação das causas-raiz dos problemas prioritários, é possível selecionar e implementar as ferramentas *Lean* adequadas. O modelo foi aplicado num estudo de caso efetuado na ELO–Automotive, uma PME do setor automóvel que fabrica e vende molas de suspensão.

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo principal o desenvolvimento de um modelo estruturado com o propósito de eliminar problemas e reduzir desperdícios, contribuindo para o aumento da produtividade de uma organização. Mediante a identificação e priorização de problemas, num setor crítico selecionado previamente, pretende-se aplicar as ferramentas *Lean* mais adequadas. Todo o processo decorre com o envolvimento dos colaboradores da organização (operadores e chefias), pretendendo-se que o modelo seja de fácil compreensão e aplicação. Assente nesta premissa, visa-se contribuir para o sucesso da disseminação, standardização e sustentação da cultura que envolve a filosofia *Lean*. Para a concretização do objetivo principal, foram delineados objetivos intermédios:

- 1) Desenvolver um modelo estruturado que permita priorizar os problemas identificados na área fabril definida como setor crítico, baseando-se no constante *feedback* da organização e na recolha de dados efetuada;
- 2) Validar o novo modelo através da sua aplicação num contexto real de uma unidade industrial;
- 3) Implementar e sustentar as ferramentas *Lean* consideradas adequadas. O modelo deverá estar estruturado e abranger uma implementação intuitiva do *Lean*;
- 4) Promover a sustentação e disseminação da cultura *Lean* na empresa do estudo de caso.

1.3 Metodologia de Investigação

A metodologia de investigação consistiu em 5 fases:

Definição de objetivos: Primeiramente os objetivos, apresentados no subcapítulo 1.2 Objetivos, foram estabelecidos;

Estado de arte: Nesta fase foi realizado um breve estudo do estado de arte do *Lean* e de outros conceitos abordados. A indústria e processos onde se insere o estudo de caso são alvo de análise. Destaca-se ainda a recolha de informações e análise sobre modelos que permitam a priorização de problemas e redução de desperdícios.

Desenvolvimento do modelo estruturado: O modelo estruturado proposto pretende priorizar problemas identificados. A partir destes, são selecionadas e aplicadas as ferramentas *Lean* adequadas, tornando os processos produtivos mais eficientes. O modelo incorpora um conjunto vasto de ferramentas, provenientes do *Lean* e de outras áreas como, por exemplo,

da Qualidade. Desta forma, proporciona uma metodologia sistemática para a seleção e aplicação de projetos *Lean*, permitindo contribuir para a melhoria contínua de uma organização. O modelo estruturado divide-se em 6 etapas: Identificação do setor crítico; Identificação de problemas no setor crítico; Identificação dos problemas principais; Análise das causas-raiz; Implementação do *Lean* e Análise dos resultados. Inicialmente, é efetuada uma análise geral preliminar com o apoio e *feedback* da organização e cria-se o *Value Stream Mapping* (VSM), identificando-se o setor crítico de produção. É efetuada uma análise pormenorizada do setor crítico, através da recolha de dados e informações. Através desta análise são identificados diversos problemas, posteriormente classificados pelo grau de importância e impacto nos desperdícios. Para a classificação dos problemas aplica-se a *Quality Function Deployment* (QFD), a partir de uma Casa da Qualidade. Com esta abordagem é possível classificar os problemas tendo por base diferentes critérios e considerar a inter-relação existente entre os diferentes desperdícios. Após classificação dos problemas, os prioritários são identificados através do Princípio de Pareto e são alvo de análise da causa-raiz através da ferramenta 5 *Whys*. Por último, com base na literatura, são aplicadas as ferramentas *Lean* mais adequadas para as causas concretas dos problemas identificadas. Os resultados obtidos são alvo de análise numa fase posterior.

Aplicação do modelo estruturado: A viabilidade do modelo é analisada através da sua aplicação num estudo de caso efetuado numa metalúrgica que produz componentes para a indústria automóvel. Para recolha e análise dos dados necessários, será crucial a compreensão dos processos e enquadramento do estudo nos objetivos da organização.

Análise de resultados e conclusões: Nesta última fase, os resultados obtidos decorrentes da aplicação do modelo são avaliados, permitindo tirar as respetivas ilações sobre a sua validade e viabilidade.

1.4 Organização do documento

O presente documento encontra-se organizado em 7 capítulos. O primeiro e atual capítulo, "Introdução", de carácter introdutório, é referente ao enquadramento do tema da dissertação, seguindo-se a definição dos objetivos, da metodologia aplicada e, por fim, a organização e notação do documento.

No segundo capítulo, " *Lean* e metodologias de apoio", é feita uma revisão do estado de arte da filosofia *Lean*, nomeadamente, origem, fundamentos e ferramentas. Ferramentas de apoio inseridas no modelo estruturado proposto são também alvo de revisão.

O terceiro capítulo, "Introdução ao Estudo de Caso", centra-se análise da literatura da indústria automóvel e das molas de suspensão. São também descritos os processos produtivos da empresa na qual foi efetuado o estudo e analisado o processo produtivo das Molas Pneumáticas, desde a receção da matéria-prima até à fase de Tratamento Térmico.

No quarto capítulo, "Proposta de um novo modelo estruturado *Lean* para eliminar problemas e reduzir desperdícios", são identificados os diferentes modelos analisados existentes na literatura para redução dos desperdícios e as suas limitações. Em seguida, o modelo proposto é apresentado e a sua estrutura descrita.

No quinto capítulo, "Aplicação do Modelo Estruturado", é aplicado o modelo no estudo de caso especificado no capítulo anterior. Após identificação do setor crítico, Enrolamentos Lâmina Mestra (310), este é caracterizado e são identificados os problemas existentes, sendo priorizados e alvo de análise até à causa-raiz. Propõe-se a aplicação de ferramentas *Lean* adequadas, sendo os resultados obtidos apresentados. Por fim, o modelo estruturado proposto é alvo de discussão.

No sexto e último capítulo, "Conclusão", são evidenciadas as conclusões finais do estudo efetuado, através de uma síntese dos resultados obtidos com a aplicação do modelo estruturado proposto, assim como as oportunidades para trabalhos futuros.

1.5 Notação

Na presente dissertação recorre-se a notação científica usada na literatura para facilitar a leitura e compreensão do texto. Para a identificação de figuras e tabelas, foi utilizada a seguinte nomenclatura: Figura x.y e Tabela x.y. O primeiro parâmetro (x) designa o capítulo a que pertence e o segundo parâmetro (y) indica o número de ordem, no respetivo capítulo. De realçar que as tabelas e figuras apresentam duas sequências numéricas distintas.

Todas as citações ou fontes de informação de um, ou mais documentos, foram incorporadas mediante as normas em vigor (IEEE), em que as citações são numeradas pela ordem em que aparecem no documento. As siglas e abreviaturas usadas respeitam as informações técnicas da língua portuguesa e inglesa, aceites pela comunidade científica.

Os equipamentos mencionados são identificados conforme a nomenclatura adotada pela empresa, tendo esta por base o registo de ativos fixos. Alguns desses equipamentos são numerados e agrupados por famílias específicas, como, por exemplo, os Fornos, identificados de 500 a 599 e as Máquinas de Enrolamento de 300 a 310.

LEAN E METODOLOGIAS DE APOIO

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica do *Lean* e ferramentas utilizadas no modelo estruturado proposto. Desde os primórdios da atividade humana têm vindo a ser desenvolvidas técnicas que visam obter produtos/serviços com a melhor tecnologia e qualidade, enquanto se procura a minimização dos custos. A partir da Primeira Revolução Industrial no séc. XVIII, esta procura intensificou-se, tornando-se necessário implementar metodologias que conseguissem corresponder à nova procura acentuada do mercado. Atualmente, a filosofia *Lean* possui resultados da sua eficácia extensivamente divulgados, tanto no meio académico, como no meio empresarial [4].

2.1 Origem do *Lean*

Para se compreender o surgimento do *Lean* é necessário recuar até ao Japão pós-Segunda Guerra. À data, a produção em massa introduzida por Henry Ford era considerado o sistema ideal. No entanto, o Japão no período conturbado após a Segunda Guerra Mundial, era caracterizado por uma elevada escassez de recursos, procura reduzida e crescente competitividade, fruto do surgimento de um mercado mundial. Desta forma, a economia do país era desfavorável à aplicação da produção em massa. Foi em virtude deste ambiente que é fundada a Toyota Motor Company, por Sakichi Toyoda e Kiichiro Toyoda. Numa fase posterior, com apoio do diretor fabril, Taiichi Ohno, procuraram conceber um novo sistema de produção, consistindo na combinação de diversos novos métodos inovadores [8].

Taiichi Ohno teve oportunidade de visitar e escrutinar unidades de produção automóvel nos Estados Unidos da América. Nessas observações ficou admirado com a quantidade de desperdícios resultantes da produção em massa, assim como a incapacidade de cumprir com os requisitos dos clientes relativamente à variedade dos produtos [4]. Ohno

procurou desenvolver e implementar novas ferramentas que melhorassem a qualidade dos produtos (*Jidoka*) e a capacidade de resposta (JIT), no designado TPS [8]. Foram inseridas várias inovações no TPS, tais como o nivelamento da produção (*Heijunka*), o método *Kanban*, a polivalência da mão-de-obra, entre outros [4].

Com o crescimento e alcance de vantagem competitiva pelos produtores automóveis japoneses, a partir de 1970, encabeçados pela Toyota, verificou-se uma tendência mundial de substituição da indústria convencional de produção em massa por uma mais flexível. O sucesso do *Lean* está interligado com diversos fatores, como o êxito do livro "*The Machine that Changed the World*" que popularizou o termo "*lean*" e a Toyota tornar-se a maior produtora mundial de veículos automóveis [4]. O *Lean* tem permitido que as indústrias se adaptem à volatilidade, incerteza, complexidade e ambiguidade do mercado (ambiente VUCA), assegurando a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Ao longo dos anos, a filosofia *Lean* tem vindo a estabelecer-se como um elemento fulcral para a redução de custos e no combate ao desperdício, envolvendo diversos aspetos, como gestão da qualidade, produção *pull*, gestão da manutenção e administração dos recursos humanos. Desta forma, as empresas têm a oportunidade de conquistar uma vantagem competitiva favorável, através da adoção de uma cultura voltada para uma aprendizagem conjunta e liderança orientada para objetivos [9].

2.2 "Casa" TPS

O TPS tem verificado uma evolução significativa, passando de um conjunto restrito de ferramentas para uma abordagem abrangente baseada em uma filosofia de trabalho. Com o intuito de representar essa filosofia, surgiu a metáfora da "casa" TPS (Figura 2-1). A "casa" TPS é um ícone cultural da indústria, que apresenta de forma simples e visual, através de uma representação gráfica, o modelo subjacente ao sistema produtivo da Toyota [9].

Inicialmente, a aplicação do TPS não era documentada, sendo transmitida através de conhecimento prático. A "casa" TPS surge como umas das primeiras representações do TPS, introduzida por Fujio Cho, baseando-se no princípio de que uma casa é tão sólida apenas se todos os elementos da estrutura também o forem. Embora existam variações na representação gráfica, os princípios fundamentais da "casa" TPS permanecem consistentes, refletindo as estratégias essenciais da filosofia *Lean* [9], [10].

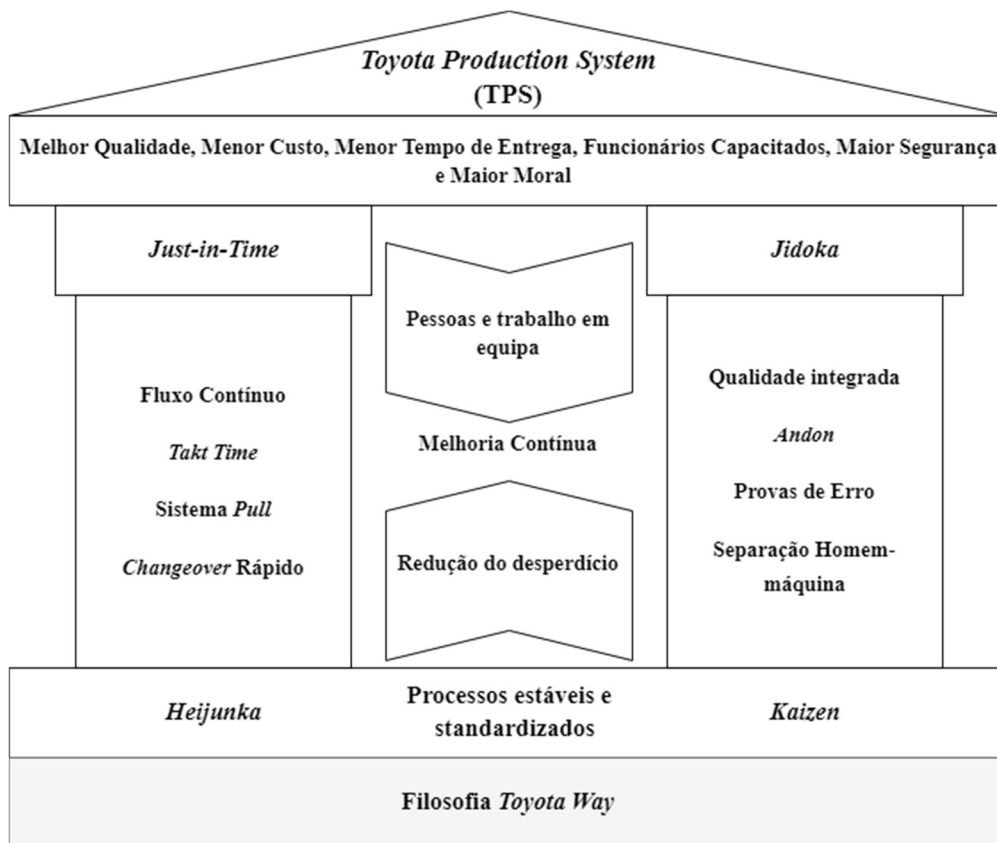


Figura 2-1 – A "casa" TPS (Fonte: Adaptado de: [9])

A "casa" é constituída por dois pilares fundamentais: JIT e *Jidoka*, que desempenham um papel crucial no alcance dos objetivos estabelecidos representados no telhado: melhor qualidade, menor custo e tempo de entrega, funcionários capacitados, e maior segurança e moral. Para garantir a estabilidade do sistema é necessário existir uma base sólida, conseguida através de: nivelamento da produção (*Heijunka*), processos estáveis e standardizados e a melhoria contínua (*Kaizen*). As pessoas encontram-se no centro do sistema e só através da aplicação da melhoria contínua consegue-se atingir a estabilidade produtiva. As pessoas têm de ser formadas para conseguirem detetar desperdícios e a resolução de problemas é efetuada no próprio local. O *Toyota Way* é uma abordagem recente aos princípios *Lean*, focada no respeito pelas pessoas e melhoria contínua [9].

2.2.1 *Just in Time*

O conceito de JIT representa a fluidez do material entre processos. Consiste em assegurar que o material correto chega ao local certo, no momento exato e nas quantidades adequadas. O ideal para o fluxo de uma peça é produzir à taxa de procura do cliente. Desta

forma, a produção deve ser num sistema *pull*, onde só se inicia a produção após confirmação da encomenda, associado ao conceito de *takt time* [9].

Ao contrário da produção em massa, num sistema JIT, o carácter de urgência leva a que seja procurada e solucionada a causa-raiz dos problemas detetados, evitando que estes ocorram novamente. Este método proporciona a criação de *buffers* de menores dimensões, eliminando a rede de segurança proporcionada por níveis de *stock* elevados. Como resultado, problemas como defeitos de qualidade tornam-se imediatamente visíveis. Embora o JIT siga um princípio simples, para uma aplicação efetiva exige a disciplina e envolvimento de todos os colaboradores, caso contrário, poderá acarretar perdas financeiras consideráveis para a organização [9].

2.2.2 *Jidoka*

O *Jidoka* também é mencionado como autonomação (automação com um toque humano) [9]. Dito de outra forma, *Jidoka* representa uma máquina com inteligência humana. Inicialmente, consistia em dispositivos que paravam imediatamente os equipamentos ao detetar uma falha, sendo então possível analisar a causa do problema durante a interrupção. Atualmente, este conceito também engloba processos manuais, onde os operadores param a produção sempre que detetam anomalias. Através do *Jidoka* é possível conter um problema antes da propagação dos seus efeitos e reduzir a taxa de produtos defeituosos que chega ao cliente. Adicionalmente, tem efeitos positivos nos colaboradores, permitindo libertar tempo para outras atividades e atribuindo-lhes responsabilidades (valorização) que influenciam a produção [5].

O conceito de *Jidoka* encontra-se intrinsecamente relacionado com o de *Andon*, “lâmpada”, que corresponde a uma forma de gestão visual que indica o estado da produção e pode ser utilizado para sinalizar problemas. Sistemas sonoros de alarme são também integrados no *Andon*, para indicar a existência de um problema [9].

2.3 Princípios *Lean*

Para o sucesso da implementação de uma produção *Lean* em qualquer organização, existem 5 princípios fundamentais definidos por Womack e Jones (1996), amplamente reconhecidos como um conjunto de diretrizes eficazes para melhorar a eficiência no ambiente de trabalho [11]:

1. **Definir valor:** O valor é sempre definido como o que o cliente está disposto a pagar e todas as características inerentes ao produto (prazo de entrega, preço, qualidade, etc.). É essencial estabelecer uma clara distinção entre as necessidades reais do cliente e a percepção existente na organização. Habitualmente, verifica-se um distanciamento entre ambas uma vez que tendem a ser acrescentadas atividades que não têm influência na satisfação do cliente.
2. **Mapear o fluxo de valor:** O segundo passo consiste em mapear o fluxo de valor, onde se encontra incorporada a sequência de todas as fases necessárias para a produção, desde a conceção até ao produto final. Este mapeamento permite localizar e eliminar as atividades que não acrescentam valor ao produto.
3. **Fluxo contínuo:** Após a identificação e remoção dos desperdícios, melhora-se o fluxo de produção, para que este ocorra de forma contínua. Pode ser alcançado através de, por exemplo, o *Heijunka* ou reconfiguração das atividades.
4. **Sistema *pull*:** Deverá apenas existir produção a pedido pelo cliente, numa ótica JIT, através de um sistema *pull*. Neste sistema, o reabastecimento de um recurso é desencadeado apenas após consumo, garantindo um fluxo contínuo e fluído do processo.
5. **Perfeição:** A última etapa consiste em procurar a perfeição, através da eliminação contínua dos desperdícios em cada processo. A transmissão de informação desempenha um papel fundamental. É crucial promover a transparência, procurando constantemente o *feedback* de fornecedores e clientes, para identificação de oportunidades de melhoria.

2.4 *Mura, Muri e Muda*

A implementação da filosofia *Lean* foca-se na redução e/ou eliminação dos desperdícios existentes na produção. Os desperdícios em *Lean* tem habitualmente a designação de *Muda*. Verificam-se outras duas fontes de problemas inerentes à produção, *Mura* e *Muri*. A aglomeração *Muda-Mura-Muri*, também designada por 3M's, são as práticas de desperdício a serem eliminadas [11], [12].

***Mura*:** Significa variabilidade ou inconsistência da produção, verificado através do desnivelamento do fluxo de trabalho (períodos de elevada sobrecarga alternando com momentos de quebra produtiva). É decorrente de problemas internos, como falta de material e defeitos, provocando a necessidade de possuir-se capacidade produtiva para o nível mais

elevado de produção, mesmo que as necessidades médias sejam inferiores. Os diversos *Muda* são uma das consequências habituais do *Mura* [12].

Muri: Caracteriza a sobrecarga verificada no processo produtivo. Devido aos *Muda* e *Mura*, em períodos de pico, exige-se mais do que é recomendado aos trabalhadores e/ou equipamentos, provocando avarias e problemas de segurança. Consequentemente, verifica-se uma perda de produtividade e da qualidade do produto, agravando os *Muda* existentes [12].

Muda: Significa desperdício, representando atividades que não acrescentam valor. Estas atividades dividem-se em duas categorias diferentes: de valor não acrescentado, mas necessárias e de valor não acrescentado. As primeiras não acrescentam diretamente valor ao cliente, mas são necessárias para a qualidade do processo. No caso das segundas, não agregam valor e consomem recursos que poderiam ser alocados a outras tarefas. É essencial que as empresas se foquem na redução das atividades que não acrescentem valor, mas são necessárias e eliminem as que não acrescentam valor e provocam desperdícios. Taichii Ohno identificou a existência de 7 tipos de desperdícios, os intitulados 7 *Muda* [13]:

Transporte – movimento excessivo ou ineficiente de peças e/ou materiais. Esta movimentação excessiva tem consequências negativas na produtividade e na qualidade.

Stock – excesso de matérias-primas, produtos semiacabados e/ou produtos acabados. O excesso de *stock* encontra-se associado a outros desperdícios, aumenta o tempo de espera e impede a rápida identificação de problemas. Adicionalmente, a existência de um nível de *stock* elevado afeta a saúde financeira das empresas.

Movimentação - qualquer deslocação desnecessária dos trabalhadores, sem adicionar valor ao produto, como procura de materiais e ferramentas, que o cliente final não está disposto a suportar. A movimentação desnecessária provoca um aumento no tempo de produção e as tarefas envolvidas devem ser redesenhadas. Uma má configuração do *layout* leva ao excesso de movimentos e afeta a saúde e segurança dos trabalhadores.

Espera - todas as interrupções no processo devido à falta de recursos ou informações, tanto a nível humano quanto a nível dos equipamentos disponíveis, ou simplesmente o processo estar parado. A espera desnecessária pode originar *bottlenecks* e contribuir para diminuir a produtividade e a satisfação dos clientes.

Sobreprodução – produção em excesso, em oposição ao JIT. Consiste em produzir além da procura, resultando em quantidades desnecessárias do produto. É consensualmente considerada a principal fonte de desperdício, uma vez que agrava consideravelmente outros tipos de desperdícios como *stock*, transporte e defeitos.

Sobreprocessamento – realizar etapas desnecessárias, como adicionar mais componentes, realizar mais atividades ou ser mais exato do que o exigido, proporcionando trabalho de valor não acrescentado.

Defeitos – produção defeituosa ou com anomalias. Este tipo de desperdício acarreta retrabalho e sucata, representando um custo direto, tanto a curto como a longo prazo.

O **Desperdício de Potencial Humano** é consensualmente identificado, referido como a subutilização das capacidades humanas ou desperdício de talento. Num ambiente de melhoria contínua, deve existir uma partilha de conhecimentos e o envolvimento de todos os colaboradores, promovendo a identificação de problemas e desenvolvimento de soluções. A valorização dos recursos humanos e das suas capacidades, promove a melhoria dos processos [9]. Desta forma, podem ser definidos 8 desperdícios (*Muda*).

2.5 *Kaizen*

O *Kaizen* pretende ir para além da eliminação dos desperdícios, numa perspetiva progressiva de melhoria contínua. É um método em que a melhoria ocorre em todos os aspetos, envolvendo todos os colaboradores da empresa (gestão de topo, chefias intermédias e trabalhadores). Numa perspetiva simplista, consiste na implementação de melhorias graduais que a longo prazo beneficiam a organização [2], [14]. A filosofia *Kaizen* implica a redução de custos operacionais através da adoção de uma abordagem centrada no conhecimento existente na organização, sem exigir investimentos substanciais. Através da implementação de ideias dos colaboradores é possível melhorar a produtividade, segurança, moral e ambiente, de forma gradual e contínua. Esta abordagem apresenta-se como mais viável do que a inovação na criação de produtos de maior qualidade e valor. No entanto, o *Kaizen* é aplicado em complementaridade à inovação, contribuindo para a melhoria da qualidade dos produtos [14].

Se o *Kaizen* for implementado de forma exaustiva e abrangente, as necessidades de mão-de-obra poderão diminuir. Estes trabalhadores considerados "redundantes" devem ser realocados para outras atividades produtivas e não dispensados, visto que, a longo prazo, a melhoria na eficiência da produção acarretará um aumento no número de trabalhadores necessários [14]. Qualquer resistência ou atitude negativa por parte dos trabalhadores relativamente à aplicação do *Kaizen* pode ser problemática, especialmente se não houver perceção do seu impacto positivo. Os trabalhadores do chão de fábrica tendem a resistir às mudanças associadas à introdução do *Kaizen*, por acreditarem que os métodos atuais já são

suficientemente eficientes. Para superar esta resistência, é necessário demonstrar e registrar a eficácia dos novos métodos, evidenciando as melhorias obtidas. Os formadores envolvidos devem esclarecer e comunicar eficazmente a utilidade do *Kaizen* aos trabalhadores da fábrica. Com esta abordagem, é possível que o potencial da filosofia *Kaizen* seja completamente atingido, contribuindo assim, para uma melhoria contínua sustentável da organização [14].

Um evento *Kaizen* consiste num projeto de melhoria contínua, tendo impacto e repercussões tanto a nível técnico (desempenho na área de trabalho), quanto na dimensão social (envolvimento e participação dos colaboradores). São constituídas equipas semiautónomas, sob a orientação de um facilitador experiente, com a responsabilidade de selecionar e aplicar ferramentas específicas para a resolução dos problemas. Durante um período relativamente curto (geralmente de 3 a 5 dias), são projetadas e implementadas melhorias na área de trabalho alvo [15].

Numa análise feita em 3 fábricas da indústria metalúrgica na Polónia [16], é evidenciada a utilização bem-sucedida do Sistema de Sugestões, que consiste na obtenção de ideias pelos trabalhadores do chão de fábrica. Este sistema permite reduzir custos e inovar as atividades. Os trabalhadores, com o melhor conhecimento do processo, conseguem identificar, implementar e monitorizar as melhorias necessárias.

2.6 Benefícios e Barreiras da Implementação do *Lean*

A partir do momento que a Toyota com o TPS ultrapassou as economias de escala e ganhou à concorrência norte-americana, que o *Lean* e as suas metodologias sofreram uma difusão massiva, muito semelhante à da produção em massa em 1920, principalmente no setor automóvel [5]. O *Lean* tem vindo a crescer, com aplicações em outros setores para além da indústria automóvel. Atualmente, é aplicado em todo o tipo de indústrias e verifica-se a sua aplicação no setor dos serviços, o designado *Lean Services*, por exemplo, em hospitais, seguradoras, na banca, etc. [9]. A implementação do *Lean* permite eliminar os desperdícios existentes nos processos, tendo impacto direto no desempenho e permitindo produzir de acordo com a procura do cliente (JIT). Muitos autores afirmam que através do *Lean* obtêm-se vantagens estratégicas que permitem às organizações manterem-se competitivas. Também são esperadas reduções nos níveis de *stock*, nos custos de qualidade, no prazo de entrega e aumento da produtividade do trabalho. Outros benefícios advêm do impacto que possui no âmbito da melhoria da qualidade, aumento da segurança e em mudanças culturais [6].

Embora a metodologia *Lean* seja progressivamente adotada na indústria, com muitos dos seus conceitos empreendidos e estudados há várias décadas, diversos estudos acadêmicos apontam que a sua implementação não constitui uma tarefa simples ou imediata, principalmente em PMEs. Para implementar iniciativas *Lean* com êxito em organizações de menores dimensões, é necessário ter em atenção às barreiras existentes e à necessidade de conformidade com os fatores críticos de sucesso. O processo de implementação do *Lean* deve abranger a aplicação das ferramentas adequadas, tendo em consideração os obstáculos existentes como a falta de financiamento, a escassez de trabalhadores polivalentes, a cultura organizacional inadequada e as tecnologias de fabrico obsoletas [6], [7].

Um estudo efetuado divide em 3 tipos as barreiras da transmissão da cultura *Lean* em PMEs: Administrativas e Técnicas, Económicas e Sociais [17]. Com base em diversas fontes, identificou-se a existência de uma correspondência entre as barreiras e os fatores críticos de sucesso subjacentes à implementação do *Lean*. Os fatores críticos de sucesso consistem nas condições essenciais para o alcance do objetivo definido e vitais para o sucesso futuro de uma organização (Tabela 2-1).

Tabela 2-1 – Relação entre as barreiras e os fatores críticos de sucesso do Lean (Fonte: Adaptado de [17])

Barreiras	Fatores críticos de sucesso
Falta de experiência	Competência e experiência Educação e formação
Falta de planeamento	Competência e experiência
Falta de comprometimento da gestão de topo	Compromisso da gestão de topo
Falta de uma perspetiva estratégica	Competência e experiência
Incompreensão do <i>Lean</i>	Educação e formação
Resistência à mudança	Mudança cultural
Limitações de recursos	---

2.7 *Lean* na Indústria Metalúrgica Automóvel

A indústria metalúrgica, embora esteja interligada e forneça diversos materiais para a indústria automóvel, negligenciou durante um período considerável a prática do *Lean*. O processo produtivo desta indústria possui diversas exigências e complexidades, como o consumo substancial de materiais e energia, responsáveis pela maior parte dos custos de produção. Contudo, com o aumento incremental nos custos de produção, as empresas deste setor têm vindo a procurar métodos para reduzir gastos, de modo a manter a

competitividade no mercado global. Neste contexto, a adoção e aplicação de metodologias *Lean* emergiram como uma solução viável, permitindo o aumento da eficiência nos processos produtivos através da eliminação de desperdícios. Esta abordagem tem sido progressivamente adotada na indústria metalúrgica, permitindo uma produção mais eficiente [2], [18].

De acordo com [18], a aplicação de ferramentas *Lean* na indústria metalúrgica apresenta diversas vantagens. No caso da metodologia 5S permite identificar o local das ferramentas necessárias e melhorar a segurança dos trabalhadores. O *Kaizen* é útil em empresas metalúrgicas, onde pequenas melhorias podem resultar em poupanças de recursos substanciais. A abordagem TPM é aplicável apenas em certa medida, em processos como a laminagem, onde os operadores podem efetuar pequenas intervenções de manutenção. Por último, o *Single-Minute Exchange of Dies* (SMED), é especialmente relevante para as operações de moldagem e laminagem [18].

2.8 Ferramentas *Lean*

2.8.1 *Value Stream Mapping*

Uma expressão intrinsecamente relacionada com a implementação do *Lean* é a identificação e eliminação dos desperdícios, sendo neste contexto que surge o VSM. Womack e Jones (1996), realçam que o mapeamento dos processos deve ser realizado como o primeiro passo para entender onde os desperdícios são criados [5]. O VSM permite mapear as atividades necessárias para produzir um produto, de valor acrescentado e não acrescentado, desde o momento em que este é solicitado até à expedição para o cliente [19], [20]. Consiste numa ferramenta de mapeamento visual de processos que permite que todas as partes interessadas da organização, desde os colaboradores aos clientes, facilmente visualizem e compreendam o processo. Encontra-se normalmente dividido em 3 secções: fluxo de comunicação ou de informação na zona superior, fluxo de processos ou produção na zona intermédia e duração dos processos/distâncias de deslocação na zona inferior. A notação utilizada no VSM é específica e consiste numa combinação de ícones de fluxograma com formas específicas usadas para representar visualmente as várias tarefas e funções. Os ícones utilizados são de fácil compreensão. Contudo, caso sejam introduzidos ícones originais (novos), deverão ser explicados aos observadores [19]. A Figura 2-2 contém uma representação padrão de um VSM, com alguma da simbologia utilizada.

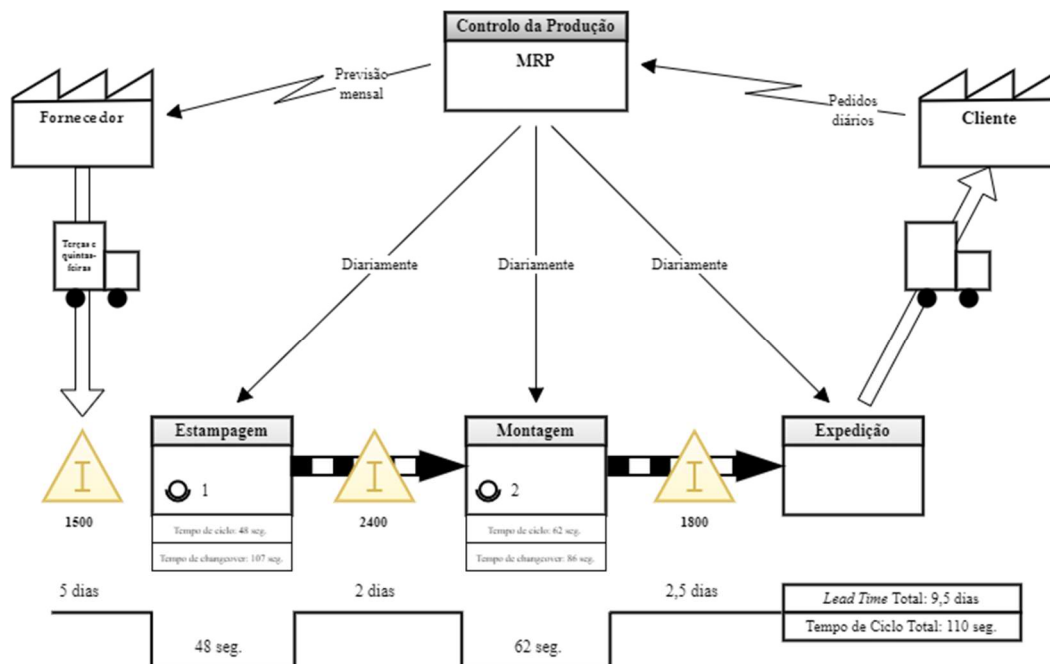


Figura 2-2 – Representação padrão de um VSM (Fonte: Adaptado de [21])

O VSM pode ser criado para representação do Estado Atual, que consiste na visão base do processo existente a partir da qual os problemas e melhorias são avaliados. O Estado Futuro (objetivo), pode ser também construído, representando a visão que a equipa envolvida possui após as melhorias terem sido efetuadas [12]. O ícone *kaizen burst* é utilizado para identificar as melhorias ou alterações necessárias a realizarem-se [19]. Segundo Nash e Poling (2008), para o mapeamento do estado atual, se este representar 70% do valor real permite abranger e identificar a maioria dos desperdícios, permitindo a alocação dos recursos para execução de melhorias com os dados recolhidos [19]. Para compreensão do VSM, é necessário assimilar-se alguns dos indicadores que lhe são inerentes [19]:

- **Lead Time (Tempo de entrega):** Tempo desde a receção do produto até à entrega para o processo seguinte. Este tempo engloba o tempo de ciclo, espera e transporte, ou seja, integra também atividades de valor não acrescentado. O *Process Lead Time* (PLT) representa o somatório de todos os *leads times* dos processos.
- **Cycle Time (Tempo de ciclo):** Tempo necessário para completar uma operação. Num processo produtivo, corresponde ao tempo médio entre a produção de duas peças conformes. É a métrica de maior valor que se pode retirar do VSM. O *Total Cycle Time* (TCT) consiste no somatório dos tempos de ciclo para todas as atividades.

- **Tempo de Processamento:** Tempo em que está efetivamente a existir trabalho no produto, ou seja, é o tempo em que as atividades de valor acrescentado estão a ser realizadas no processo.
- **Takt Time:** A palavra "takt" em alemão significa ritmo e o *takt time* consiste na velocidade de produção necessária para acompanhar a procura. Através da procura do cliente e tempo disponível para produção é possível calcular esta métrica (Equação 2.1).

$$Takt\ time = \frac{\text{Tempo líquido disponível para o período de tempo especificado}}{\text{Procura do cliente para o mesmo período de tempo especificado}} \quad (2.1)$$

- **Work-in-Progress (WIP):** Representa qualquer inventário de materiais em estado de desenvolvimento, ou seja, que estão a aguardar pelo processo.
- **Changeover Time:** Tempo decorrido entre a saída da última peça conforme do ciclo anterior e a da saída da primeira peça conforme do novo ciclo. Desta forma, não consiste apenas no tempo para mudança de ferramenta e engloba diversos tempos (espera, produção não conforme, etc.).

Em suma, o VSM é uma ferramenta simples e prática que permite visualizar possíveis desperdícios e melhorar os processos, auxiliando na tomada de decisão e na implementação de melhorias.

2.8.2 *Single-Minute Exchange of Dies*

O SMED é uma metodologia desenvolvida e introduzida pelo Engenheiro Industrial Shigeo Shingo. Na sua definição original, tal como o nome indica, visa a redução do tempo de mudança de ferramenta (*changeover time*), também referido como tempo de *setup*, para tempos inferiores a 10 minutos, ou seja, de apenas de dígitos singulares [22], [23]. Quando se produz mais do que uma tipologia de produto os tempos de *setup* são inevitáveis. Não obstante, como corresponde a uma atividade que não acrescenta valor para o processo, deve-se procurar a sua minimização [18], [22]. O SMED é amplamente reconhecido como um método que possibilita a redução do tempo de *setup*. A aplicação adequada desta metodologia permite a redução do tamanho dos lotes, permitindo uma maior flexibilidade e diminuindo o *stock*, garantindo uma melhor adaptação à variação da procura [22].

O tempo de *setup* é o intervalo de tempo que decorre entre a produção da última peça conforme da referência de saída e a produção da primeira peça conforme, da referência de entrada [22]. Durante o *setup* a produção está parada para efetuar a troca e/ou limpeza da ferramenta. Após o *setup*, a produção inicia novamente e continua até que ocorra uma produção consistente, sendo este período convencionalmente referido como *run-up* (Figura 2-3) [24]. É habitual existirem oscilações no período de *run-up*, sendo difícil determinar em que momento é atingido o ritmo de produção desejado. Na abordagem de Shingo, o tempo de *run-up* não foi considerado, porque efetivamente o equipamento encontra-se em funcionamento. No entanto, este período tem segundo vários autores uma importância fulcral e deve ele também ser alvo de uma análise focalizada [24].

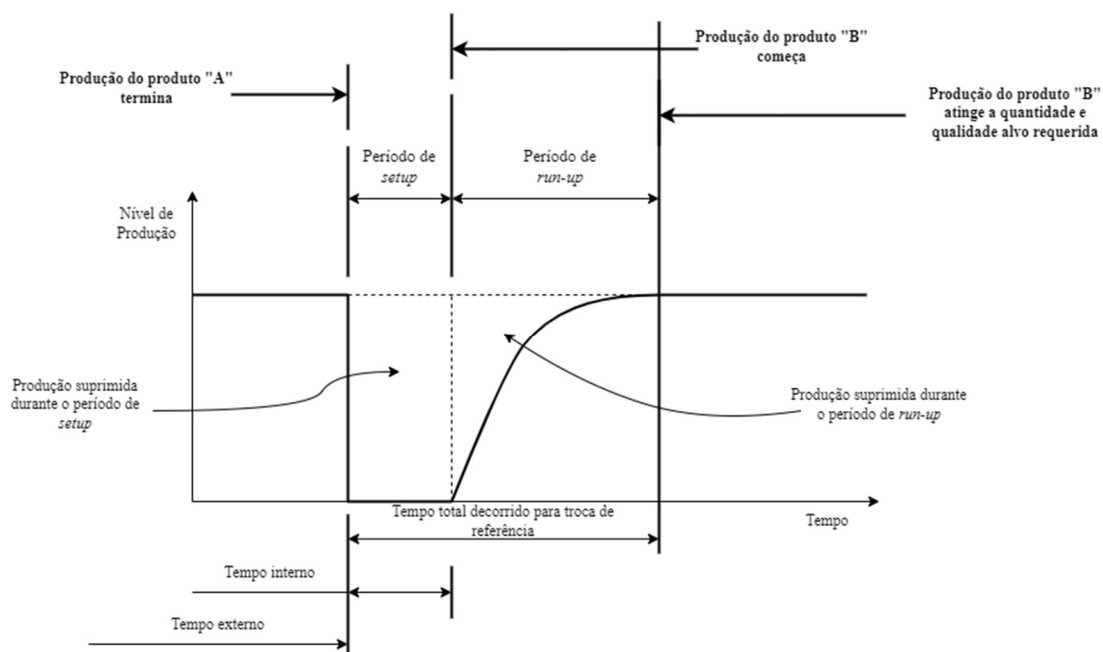


Figura 2-3 – Representação do tempo de *setup* (Fonte: Adaptado de [24])

Segundo Shingo (1985), os 5 passos do SMED dividem-se em [23]:

- Observação e registo;
- Separação entre tarefas internas e externas - As tarefas internas são realizadas durante a operação de troca de ferramentas, enquanto a máquina está em interrupção. As tarefas externas são atividades que não interferem no funcionamento do equipamento e podem ser realizadas aquando da produção;
- Conversão do número máximo de tarefas internas em tarefas externas;
- Melhoria de todas as operações de *setup* possíveis;
- Documentar os procedimentos internos e externos.

2.8.3 5S

O método 5S representa uma ferramenta que visa melhorar a limpeza, organização e eficiência do local de trabalho, permitindo revelar problemas e atingir resultados rápidos aquando da sua correta aplicação. Com origens no Japão, surgiu através da procura pela melhoria contínua na vida profissional, pessoal e familiar dos colaboradores, possuindo raízes sociais, históricas e filosóficas [25].

O 5S divide-se em 5 etapas, cada uma representada por um termo japonês com um "S" no nome [26]:

- **Seiri** (princípio da Separação): Consiste em separar/triar todos os itens desnecessários que não deviam encontrar-se no local de trabalho. Os objetos e ferramentas que sejam obsoletos, inutilizados ou raramente utilizados devem ser removidos. Na área de trabalho só deve ser mantido o que é estritamente necessário.
- **Seiton** (princípio da Organização): No segundo passo pretende-se organizar o espaço de trabalho. Os itens triados devem ser colocados e etiquetados de acordo com a frequência de utilização. Tudo o que é necessário deve ser facilmente acessível e qualquer pessoa deve conseguir localizar o que precisa. Os locais devem ser demarcados (marcações no solo, quadros, etc.) e as vias de trabalho encontram-se desobstruídas e organizadas.
- **Seiso** (princípio da Limpeza): Este passo envolve a limpeza e manutenção regular do local de trabalho, promovendo a moral e atenuando riscos. Os colaboradores devem sentir a responsabilidade de ter o local de trabalho arrumado e limpo, eliminando poeiras, sujidade e resíduos.
- **Seiketsu** (princípio da Padronização): O passo seguinte refere-se à criação de padrões e de procedimentos claros para manter os três primeiros S's (Separação, Organização e Limpeza). É, assim, assegurada a manutenção e consistência do método 5S, garantindo que as práticas são seguidas e respeitadas por todos os colaboradores.
- **Shitsuke** (princípio da Disciplina): Neste último passo é necessário manter o esforço contínuo para uma implementação eficaz do programa. Manter o programa 5S é o mais difícil, exigindo o compromisso de todos os envolvidos em aderir aos padrões estabelecidos a longo prazo. É importante promover a importância da melhoria

contínua, através de, por exemplo, inspeções periódicas, auditorias ao 5S e reconhecimento das melhorias introduzidas.

A ferramenta 5S pode ser aplicada em diferentes áreas, desde escritórios, ambientes industriais, hospitais, etc. Num estudo de caso numa empresa que produz peças para automóveis, concluiu-se que existe uma correlação positiva entre a aplicação do 5S e a produtividade na organização. Além disso, a fábrica ficou mais limpa e segura, facilitando a deteção e prevenção de problemas, contribuindo para a eficiência e qualidade do produto [27].

A incorporação de um novo S, relativo à segurança, "*Safety*", tem vindo a ser defendida por diversos autores. Embora esteja presente na aplicação do 5S e contribua para a melhoria da segurança no local de trabalho, este fator é tão importante que requer uma atenção focalizada sendo introduzido como uma nova fase [25].

2.8.4 Gestão Visual

A Gestão Visual permite a transmissão de informações de forma clara e atrativa. A maioria das ferramentas de Gestão Visual foram gradualmente desenvolvidas na Toyota entre 1950 e 1960, com destaque para o *Kanban* e o *Andon*, embora se tenham previamente manifestado a partir do final de 1940, através de normas e instruções visuais [28].

A Gestão Visual é regularmente utilizada como ferramenta de apoio para a aplicação do *Lean*. Elimina a possibilidade de ambiguidades e reduz os erros de comunicação, através de elementos visuais como gráficos, quadros de avisos, diagramas e indicadores, facilitando a compreensão e interpretação por parte dos colaboradores. A integração de ferramentas de Gestão Visual em sistemas de informação é uma tendência, especialmente em empresas com processos informatizados [28]. A Gestão Visual pode ser utilizada para diversos objetivos, por exemplo, demonstrar a transparência do processo, incutir disciplina, contribuir para a melhoria contínua e apoiar na formação no local de trabalho [28].

O sistema de cartões *Kamishibai* é uma das ferramentas de Gestão Visual. Este termo em japonês significa "Teatro de Papel", consistindo na arte de contar histórias através de cartões ilustrados. O sistema de cartões *Kamishibai* é utilizado como uma ferramenta de auditoria e controlo dos processos, em complementaridade da aplicação de outras ferramentas, como o 5S e o *Standardized Work*. Nos cartões *Kamishibai* são inseridas informações sobre um processo numa determinada área, podendo ser aplicados em diversos setores e com a regularidade considerada necessária [29]. A vantagem do *Kamishibai* é ser

um sistema versátil, permitindo que qualquer pessoa intuitivamente o consiga compreender e realizar a auditoria necessária. Cada cartão possui duas faces (verde e vermelha), em que se a auditoria tiver sido positiva, a face visível é a verde; caso pelo menos um dos pontos da auditoria esteja em incumprimento, a face visível é a vermelha. O quadro *Kamishibai* também é muitas vezes referenciado como "quadro verde e vermelho", devido às cores que são usadas [29].

Em síntese, a gestão visual é particularmente eficaz na melhoria do ambiente de trabalho, permitindo criar uma impressão positiva nos colaboradores, clientes e outras partes interessadas, contribuindo para o sucesso e a competitividade da organização.

2.8.5 *Standardized Work*

A ferramenta *Standardized Work*, é um dos pilares fundamentais da filosofia *Lean* e uma das bases para a melhoria contínua. Permite estabelecer o método mais seguro e eficaz para realizar um trabalho no menor tempo possível, resultando numa utilização mais eficiente dos recursos. A aplicação desta ferramenta consiste na criação de procedimentos de trabalho, que contêm uma informação detalhada relativa ao processo (sequência de tarefas, tempos de ciclo, ferramentas necessárias, etc.) [30].

Num ambiente em que exista uma ausência de procedimentos, é provável que haja uma variabilidade elevada e complexidade na forma como o trabalho é efetuado, proporcionando retrabalho e defeitos. Desta forma, a criação de procedimentos padrão para o processo com a participação ativa dos operadores é crucial. Ao implementar esta ferramenta, os trabalhadores têm acesso a uma referência para a execução das tarefas, permitindo aumentar eficiência e reduzir a variabilidade [31]. A aplicação conjunta do *Standardized Work* com o balanceamento de linhas, num contexto de uma linha de produção que produz sistemas de ar condicionado para veículos automóveis, permitiu reduzir a variabilidade existente na execução das tarefas e as distâncias percorridas. Além disso, destaca-se o aumento da produtividade e minimização dos desperdícios [30].

2.8.6 *Genchi Genbutsu*

Um aspeto reconhecido como diferenciador na filosofia adotada pela Toyota foi a aplicação do *Genchi Genbutsu* em todas as etapas produtivas [9]. Esta expressão, em japonês, significa "ir e ver", mas traduz-se diretamente como "lugar e situação real" [12]. O *Genchi Genbutsu* consiste em observar atentamente a situação e condições atuais de uma

localização específica. Esta ferramenta permite compreender os problemas existentes e identificar oportunidades de melhoria [9], [12].

O principal objetivo do *Genchi Genbutsu* é detetar os problemas na sua origem. Numa conceção mais avançada, os operadores e chefias devem ter as capacidades de compreender integralmente os processos (fluxos, processos standard, etc.), avaliar criticamente como estes decorrem e identificar a causa-raiz dos problemas identificados. É uma técnica de fácil adoção e que permite que colaboradores recentemente integrados compreendam os processos, reportando o que detetam [9].

2.8.7 *Gemba Walk*

O *Gemba Walk* é uma técnica que consiste no princípio de "ir ver", ou seja, observar e compreender os processos onde as atividades decorrem. Nesta técnica caminha-se pela fábrica e observa-se as operações a serem realizadas. O termo *Gemba* provém da palavra *Gembutsu*, sendo habitualmente utilizado como um sinónimo para chão de fábrica. Um *Gemba Walk* é composto por 3 elementos [32]:

- **Observação:** Observar as pessoas a executar o trabalho;
- **Localização:** Estar no local onde o trabalho é executado;
- **Cooperação:** Interagir com as pessoas que executam o trabalho.

É uma poderosa ferramenta de apoio na melhoria contínua e normalização de processos, através do contacto contínuo com os processos e operadores. Quando os líderes da organização demonstram interesse e preocupação com a realidade operacional, a comunicação e partilha de ideias é incentivada, permitindo identificar desperdícios e propor soluções [20].

2.8.8 *Total Productive Maintenance*

O *Total Productive Maintenance* (TPM) é uma filosofia de gestão, consistindo numa abordagem sistemática através da combinação da manutenção preventiva, qualidade e envolvimento dos trabalhadores. O TPM alicerça-se num programa de manutenção preventiva e proativa para alcançar um nível elevado de eficiência dos equipamentos e aumentar a produtividade de uma organização [33]. Os oito elementos do TPM incluem [33]:

- **Manutenção de rotina:** Responsabilidade dos operadores em manterem os equipamentos limpos e lubrificados;

- **Manutenção programada:** As tarefas de manutenção são planeadas e agendadas com base em previsões de falhas;
- **Melhoria contínua:** A fiabilidade dos equipamentos e os processos de manutenção são continuamente melhorados;
- **Manutenção da qualidade:** Durante o processo de manutenção, são considerados os defeitos nos produtos com o objetivo de garantir a eliminação das causas-raiz;
- **Formação dos colaboradores:** Todos os colaboradores, incluindo a gestão, recebem formação para uma melhor compreensão do TPM e dos seus objetivos;
- **Considerações ambientais de segurança e saúde:** A segurança e a saúde ambiental são prioritárias, assegurando um ambiente de trabalho seguro e saudável, em conformidade com os padrões estabelecidos;
- **Gestão dos equipamentos:** Modificação e conceção de novos sistemas que melhorem a fiabilidade dos equipamentos.
- **Aplicação de técnicas do TPM:** Técnicas como o *5 Whys* e a *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) são utilizadas para melhorar os processos de produção e manutenção;

A implementação bem-sucedida do TPM requer a participação e o compromisso de todos os colaboradores. A manutenção eficaz dos equipamentos é crucial para alcançar níveis elevados de qualidade nos produtos. O TPM oferece diversos benefícios, tais como maior disponibilidade dos equipamentos, redução do tempo de paragens não programadas, aumento da qualidade dos produtos e da eficiência dos recursos. Existem várias barreiras a superar na sua implementação, como a resistência à mudança e a falta de recursos financeiros. Além disso, é fundamental promover uma cultura organizacional que valorize a participação de todos os colaboradores [33].

2.8.9 *Design do layout*

As empresas encontram-se inseridas num ambiente exigente e sob constante pressão da concorrência, levando à procura de melhorias aos mais diversos níveis. A preocupação com o *layout* nas organizações surgiu com a necessidade de aumentar a capacidade produtiva das unidades industriais, influenciando o seu desempenho [34]. A disposição tradicional dos equipamentos, assente numa organização funcional, revelou-se inapropriada para diversos ambientes produtivos. A incorreta disposição do *layout* é o principal responsável pelos desperdícios de transporte e movimentação, sendo essencial minimizar as

distâncias de transporte de materiais. Um *layout* apropriado, com postos de trabalho bem estruturados evitam deslocações desnecessárias e limitam movimentos não ergonômicos [34].

Vários autores têm realçado a importância do *design* do *layout*. Uma vez estabelecida a organização do espaço, os custos de uma correção posterior são significativos podendo, em certos casos, ser inoportáveis. Assim, a organização poderá ter de lidar com esse constrangimento durante um período prolongado. Uma disposição dos equipamentos inadequada pode resultar em problemas como fluxos inflexíveis e custos acrescidos. Na conceção de um novo *layout*, considerando os princípios do *Lean*, é necessário que este esteja em concordância com o sistema de produção. [35].

Devido a um elevado número de fontes de variação e possibilidades em contexto industrial, a simulação ultrapassa em larga escala a capacidade humana. A simulação tem sido uma ferramenta fundamental e amplamente reconhecida, utilizando diversos modelos como, por exemplo, contínuos, dinâmicos, entre outros [36]. Através da utilização da simulação o risco de uma implementação falhada pode ser diminuído. A simulação da conceção da disposição dos equipamentos e instalações pode ser efetuado utilizando diversas ferramentas, como o *Arena*, o *ProModel* e o *FACTORYFLOW* [36].

Existem vários métodos para definir um *layout*, cada um com as suas vantagens e desvantagens. É possível conceber múltiplos *layouts*, sendo posteriormente necessário optar por um. Esta seleção é complexa, uma vez que, consoante os critérios considerados, diferentes disposições podem ser consideradas adequadas [34]. Autores utilizam o Diagrama de Esparguete, que consiste num método onde através de uma linha de fluxo é visualizado o movimento do objeto (trabalhador, material ou equipamento) num sistema (área de produção, edifício ou oficina), [34]. O Diagrama de Esparguete é utilizado através de uma aplicação no *Microsoft Excel* que permite eficazmente efetuar a avaliação dos parâmetros seleccionados, tempo e distância, para um ou mais *layouts* [34]. Autores também utilizam o *Systematic Layout Planning* (SLP) para tornar a gestão de *stocks* mais eficiente e através do *software* de simulação Tecnomatix Plant Simulation da Siemens desenvolvem um modelo de simulação para o *redesign* do *layout*. A liberdade de se poder experimentar e testar um vasto leque de propostas, levando à identificação de alternativas preferíveis a nível produtivo e financeiro, tornam a simulação uma ferramenta essencial para auxiliar no processo de escolha de *layout* [37].

2.8.10 5 Whys

A ferramenta 5 *Whys* ou 5W, é uma técnica utilizada para identificar as causas-raiz de um determinado problema. Ao aplicar esta técnica, repete-se a pergunta "Porquê" várias vezes, com o objetivo de chegar à causa concreta do problema. Os 5 *Whys* são frequentemente usados em conjunto com outras ferramentas *Lean* e *Six Sigma*, principalmente o Diagrama de *Ishikawa* [38].

Num ambiente de trabalho, é comum ocorrerem problemas, e muitas vezes, encontrar a sua verdadeira causa é uma tarefa exigente. Taiichi Ohno observou que as pessoas tendem a atribuir responsabilidades entre si quando ocorre um problema. No entanto, a aplicação dos 5 *Whys* não visa encontrar um culpado, mas sim compreender a verdadeira origem do problema [38]. Ao chegar à quinta e última pergunta "Porquê", o problema já foi minuciosamente escrutinado e a causa-raiz identificada. Geralmente, são colocados os 5 "Porquês", embora não seja necessariamente obrigatório chegar a esse número de perguntas. A principal vantagem do 5 *Whys* é identificar facilmente a causa que desencadeia o problema, permitindo encontrar uma solução simples e eficaz para resolvê-lo [39].

2.9 Ferramentas e técnicas de apoio

No modelo estruturado desenvolvido são aplicadas diversas ferramentas e técnicas de apoio, principalmente metodologias provenientes da Qualidade.

2.9.1 *Quality Function Deployment*

A QFD, em português designada como desdobramento da função qualidade, é uma ferramenta que foi introduzida no Japão em 1972, através da Mitsubishi. Posteriormente, pelos diversos casos de sucesso, teve um reconhecimento generalizado como uma ferramenta eficaz para atingir a qualidade [40]. A QFD consiste num método para avaliar o nível de qualidade através dos requisitos do cliente, definidos como "voz do cliente", e das características técnicas (parâmetros do produto). Permite identificar as necessidades e incorporá-las na conceção e produção de bens e serviços [40]. A QFD é implementada através de uma sequência de matrizes, sendo a primeira a Casa da Qualidade ("*House of Quality*"), normalmente constituída por 6 componentes principais representados na Figura 2-4 [41], [42]:

- [A] Necessidades dos clientes (*whats*): Identifica os requisitos dos clientes;
- [B] Matriz de planeamento: Demonstra a avaliação dos clientes sobre os produtos/serviços da concorrência;
- [C] Características técnicas (*hows*): Indica como as empresas devem projetar os seus produtos/serviços;
- [D] Relações *whats/hows*: Descreve o grau da relação que as características técnicas têm nas necessidades dos clientes;
- [E] Correlações técnicas: Consiste no estabelecimento de relações "causa-efeito" nos diferentes *hows*;
- [F] Objetivos técnicos: Apresenta a importância dos *hows*. Efetua uma análise técnica e competitiva e define os valores-alvo, permitindo direcionar o foco das melhorias.

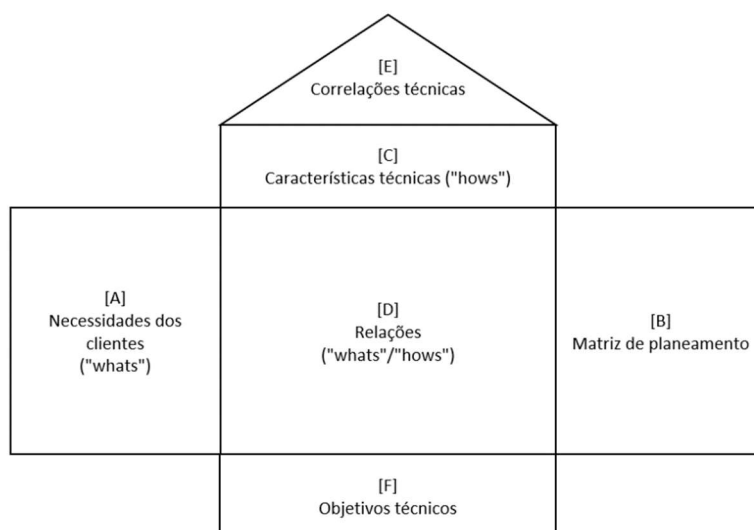


Figura 2-4 – Representação da Casa da Qualidade (Fonte: Adaptado de [42])

A QFD, em especial a matriz da Casa da Qualidade, é um método utilizado por diversos setores auxiliando nos processos de tomada de decisão [43]. No entanto, não está limitada ao desenvolvimento de produtos/serviços. Muitos investigadores integram a Casa da Qualidade com a lógica difusa [44]. Miguel e Dias (2009) propuseram o desenvolvimento de um modelo que integra a QFD e o sistema de gestão da qualidade *International Organization for Standardization* (ISO) 9001 [45]. Verificam-se, assim, novas abordagens no uso da Casa da Qualidade, pela sua abrangência e fácil compreensão.

2.9.2 Princípio de Pareto

O Princípio de Pareto ou Princípio 80/20, é uma das ferramentas fundamentais da Qualidade. Permite identificar os principais fatores que requerem a consideração da

organização e direcionar recursos. Este método foi desenvolvido no século XX, pelo economista Vilfredo Pareto, que constatou que 20% da população possuía 80% da riqueza. Este princípio básico de proporção 80/20 foi, posteriormente, aplicado em diversas realidades e reforçado na Análise ABC. Muitos investigadores consideram útil modelar diversos cenários de acordo com o Princípio de Pareto. Observam-se exemplos da aplicação desta técnica em várias áreas, incluindo: *marketing*, finanças, recursos humanos, produção e logística [46].

Um diagrama de Pareto ideal é aquele em que aproximadamente 20% dos atributos têm um peso de 80% em termos de frequência relativa, revelando assim as características críticas. Contudo, em algumas situações, pode ser evidente que a metodologia é adequada, mas que esta regra não se verifica. Matematicamente, uma condição suficiente é que a frequência total correspondente a 20% dos atributos seja superior a 60%, indicando que a utilização do Princípio de Pareto é adequado [46].

2.9.3 *Brainstorming*

O *Brainstorming*, é uma técnica de grupo ou individual que promove a criatividade e o desenvolvimento espontâneo de novas ideias através de sessões de partilha [47]. Existem três abordagens diferentes aquando da realização de um *Brainstorming* [47]:

Tradicional: Há um diálogo ativo e interativo entre os membros do grupo;

Nominal: As ideias são geradas individualmente sem interação com o grupo;

Eletrónico: São utilizados recursos *online* que permitem o contributo simultâneo de pessoas em diferentes locais geográficos.

O *Brainstorming* é uma ferramenta poderosa para promover a inovação e a resolução criativa de problemas em diversas áreas de estudo e trabalho, verificando-se também a sua aplicação na indústria (*design* e engenharia) [47]. Segundo um estudo feito [48], a utilização do *Brainstorming* tem diversos benefícios, revelando-se ser uma técnica eficaz para obtenção de novas soluções, com custos reduzidos na sua aplicação. Adicionalmente, possui uma aplicação abrangente a diversas áreas/setores e estimula a participação ativa, proporcionando o "contágio" de ideias. Por outro lado, fomenta a criatividade, a espontaneidade, a autoconfiança e promove o trabalho em equipa.

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta uma breve análise de conteúdos relativos à indústria automóvel e às molas de suspensão. Ademais, a empresa em estudo é descrita, de uma perspetiva geral para o processo produtivo alvo de análise e produtos fabricados.

3.1 Indústria Automóvel

A indústria automóvel cresceu substancialmente nos seus mais de dois séculos de existência. No século XIX, após o surgimento dos primeiros veículos automóveis, estes tiveram um crescimento considerável. No entanto, acabariam por ter insucesso e a sua utilização permaneceu escassa. A estreia do motor de combustão interna de quatro tempos de Nicklaus Otto e do Model T de Henry Ford, introduziu importantes avanços tecnológicos e sociológicos na indústria automóvel, iniciando-se um aumento na procura mundial [49]. O foco de Henry Ford em processos inovadores de produção, em particular a introdução da linha de montagem, diminuiu o custo dos veículos de forma substancial, tornando-os acessíveis à classe média. Este sistema alterou a mentalidade de produção artesanal e de customização existente, que provocava elevados custos e tempos de espera [5], [49]. Durante e após a Segunda Guerra Mundial a popularidade dos veículos automóveis aumentou, principalmente nos movidos a gasóleo [49]. A partir desta época verificou-se uma maior concorrência de modelos de diversos países, em particular do Japão, que tinha desenvolvido novas técnicas flexíveis de produção e de fabrico *Just in Time* (JIT) no TPS, permitindo produzir automóveis de elevada qualidade a um menor preço [49], [50]. A prática japonesa *Kaizen*, que envolve todos os trabalhadores numa base de melhoria e inovação incremental, resultou num aumento da eficiência das linhas de produção. Através desta prática, verificou-se a eliminação de desperdícios e diminuição dos custos operacionais [50].

Com a proliferação dos veículos automóveis japoneses e aumento da competitividade, a indústria automóvel sofreu diversas transformações desde a década de 1970. Surgiram diversos programas para redução dos custos e a produção foi progressivamente deslocada para outros locais, como México e Espanha, inseridos em acordos comerciais como o *North American Free Trade Agreement* e da União Europeia. Com o fim da Guerra Fria, o investimento externo e globalização levaram à expansão das instalações das principais marcas a novos mercados, destacando-se o Asiático. A necessidade de coordenar atividades numa escala mundial e produzir veículos de elevada qualidade em múltiplas localizações, impulsionou os fabricantes automóveis a explorar novas abordagens de fabrico e de gestão de operações. Além disso, o papel dos fornecedores cresceu consideravelmente, levando ao surgimento de *Original Equipment Manufactures* (OEM), como a Bosch e a Denso, capazes de suportar as atividades das montadoras finais e que integram um conjunto vasto de outras empresas fornecedoras [51]. Nos últimos anos, a produção de veículos em mercados emergentes tem vindo a acentuar-se, principalmente na Ásia e América Latina, pelo baixo custo da mão-de-obra e reduzida carga fiscal [51]. O ressurgimento da popularidade dos automóveis elétricos, devido a preocupações com as alterações climáticas e segurança energética, é outro desenvolvimento importante na indústria automóvel mundial [49].

A indústria automóvel engloba diversos setores da indústria transformadora, dos quais se destacam o metalúrgico e metalomecânico, de componentes e moldes. O setor metalúrgico é responsável pela produção de diversas peças e componentes que podem ser encontrados num veículo automóvel como, por exemplo, blocos de motor e molas de suspensão. Este setor envolve um processo de fabrico exigente que requer um elevado investimento em materiais e energia. O principal objetivo das empresas metalúrgicas é reduzir os custos de fabrico para permanecerem competitivas a nível global, através de uma produção mais eficiente. O *Lean* apresenta-se como uma possível solução [2], [18]. A preocupação com a Segurança e Saúde no Trabalho representa um elemento essencial para o funcionamento adequado das empresas do setor metalúrgico automóvel, sujeitas a diversos fatores de risco [52]. A redução dos desperdícios, aumento da produtividade e da segurança dos processos são prioridades para as empresas metalúrgicas, sendo benéficos modelos que auxiliem neste processo.

3.2 Indústria Automóvel – O Caso Português

A indústria automóvel em Portugal teve o seu início em 1960, altamente dependente de processos manuais, com mão-de-obra pouco qualificada, além da falta de inovação e recursos tecnológicos. Segundo [53], a indústria automóvel em Portugal até 1990 pode caracterizar-se em 3 fases distintas:

1961-1973: Período de emergência da indústria automóvel e de medidas protecionistas, que consistiram na limitação à importação de automóveis e em exigência da montagem nacional, através da "Lei da Montagem". Para esse efeito, foram criadas várias fábricas de montagem de diversas marcas que fabricavam em pequenos lotes. Esta situação resultou numa ineficiência económica e na carência de uma indústria de componentes, levando à criação de várias empresas que produziam peças artesanais de qualidade e tecnologia reduzida.

1974-1979: Lançamento de uma política de promoção de exportações após a revolução de Abril de 1974. O Estado Português lança concursos para a implementação de projetos para a produção de veículos automóveis.

1980-1988: Período marcado pela crise na indústria automóvel mundial, provocada pelo segundo choque petrolífero e Portugal atravessar uma conjuntura económica desfavorável. Verifica-se falta de investimentos e implementação de medidas de protecionismo.

A partir de 1990, apenas continuaram em funcionamento as unidades de produção mais eficientes, destacando-se as responsáveis pelo fabrico de peças e componentes. Com a globalização e a fomentação da indústria de peças e componentes, atualmente, verifica-se em Portugal um aumento da produção para exportação. Um aspeto igualmente relevante é o elevado investimento em formação profissional e equipamentos [54].

A produção de veículos automóveis, reboques, semi-reboques e componentes para veículos automóveis representava em 2021 um valor acrescentado bruto de, aproximadamente, 1570 milhões de euros, sendo 68,53% deste valor relativo à fabricação de componentes e acessórios para veículos automóveis [55]. Em 2020, existiam em Portugal 752 empresas do setor automóvel, entre as quais 5 unidades de produção e montagem, nomeadamente, CaetanoBus, Volkswagen AG, Stellantis, Daimler Group e Toyota Motor Europe [56].

3.3 Molas de Suspensão

Para permitir uma condução segura e confortável, um veículo automóvel possui peças e componentes que desempenham a função de suportar a carga e de isolar a viatura dos choques da estrada, o designado sistema de suspensão. As molas de lâmina são utilizadas em diversos sistemas de suspensão para manter o veículo e os ocupantes em segurança. São utilizadas principalmente em suspensões traseiras e em veículos pesados [57].

As molas de lâmina têm sido usadas desde a época da Roma Antiga, a partir da incorporação de varas de madeira flexíveis. Os Romanos aperceberam-se que as suas carruagens precisavam de um sistema que absorvesse o impacto em terrenos irregulares. No século XIX dá-se a invenção da primeira mola de lâminas de aço, consistindo em duas placas de aço sobrepostas. São o tipo mais básico de mola de suspensão, formadas por barras (lâminas) de aço, de várias dimensões, empilhadas umas sobre as outras [58]. O seu uso é comum em veículos pesados ou que suportem cargas cíclicas, principalmente devido ao custo reduzido [57]. As molas de lâmina são colocadas num veículo automóvel entre o eixo e a carroçaria, sendo a carga completa do veículo suportada na mola. Quando o veículo atravessa um desnível, a mola movimenta-se, armazenando energia. Devido à flexibilidade do seu material constituinte, esta volta à sua posição inicial, dissipando a energia armazenada [58]. Os sistemas de suspensão de mola de lâmina, têm vindo a ser substituídos por sistemas de molas helicoidais e pneumáticas. Os sistemas de suspensão pneumática são comuns em veículos pesados, como autocarros e camiões, bem como em veículos de luxo. Contudo, neste sistema também podem ser encontrados componentes de suporte feitos de aço flexível, como braços de controlo e outras estruturas, garantindo resistência e rigidez adicionais. Um desses casos é a mola parabólica em formato de Z (Figura 3-1), que consiste numa mola de lâmina semi-parabólica, onde é instalado um sistema de ar. Esta tipologia de suspensão mantém constante a distância da posição do chassis do veículo em relação ao solo, através da entrada/saída de ar, controlada mecanicamente ou eletronicamente pelo sistema pneumático, e devido à estrutura de material flexível [59].

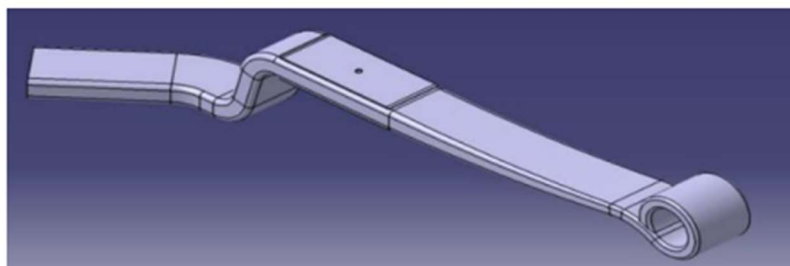


Figura 3-1 – Exemplo de um modelo tridimensional de uma mola parabólica em formato de Z (fonte: [57])

3.4 Caracterização da empresa

O estudo de caso foi realizado na ELO–Automotive, uma PME produtora de componentes para o mercado automóvel, que se dedica ao fabrico de molas de lâmina e abraçadeiras de atraque para sistemas de suspensão. Atualmente, a empresa tem à sua disposição aproximadamente 100 colaboradores, repartidos pelas áreas de administração, comercial e fabril (produção, qualidade, manutenção e técnica), com qualificação e experiência nas respetivas funções. As instalações da empresa encontram-se localizadas no Casal do Marco, abrangendo uma superfície coberta de 9 086 m², em um terreno com uma área total de 25 030 m². A empresa possui em vigor uma capacidade de produção instalada de 7 mil toneladas/ano [60].

3.4.1 Enquadramento histórico e cultura organizacional

A ELO - Fábrica Nacional de Material Automóvel, S.A., criada em 1965, produzia inicialmente componentes simples, como molas de lâmina convencionais e abraçadeiras de atraque para a indústria automóvel. Em 1968 a ELO passa a assumir o papel de fornecedor da maioria das linhas de montagem de veículos automóveis instaladas em Portugal. Entre 1982–1985, a economia portuguesa não evoluiu de forma favorável e coincidiu com crises na indústria automóvel mundial. Como resultado, muitas linhas de montagem que a ELO abastecia encerraram, impulsionando a exportação, iniciada em 1983. Em 2000, fruto da exigência dos clientes e com o objetivo de garantir a qualidade dos produtos, foi implementado um Sistema de Garantia da Qualidade segundo a norma NP EN ISO 9001:1995, que permitiu a entrada em novos mercados, inclusive no de primeiro equipamento na Alemanha (OEM). Numa ótica de melhoria contínua e de assegurar a satisfação máxima dos seus clientes, a empresa tem vindo a atualizar a certificação NP EN ISO, estando atualmente certificada com a norma NP EN ISO 9001:2015 [60]. Em 2015, iniciou-se uma reestruturação do negócio, que incluiu a implementação de um sistema de gestão da produção e um acompanhamento mais assertivo dos processos de fabrico. Esta transformação abrangeu a atualização da marca, com uma nova imagem e designação: ELO–Automotive.

Em 2019, foi iniciada a prospeção do mercado russo, tendo a empresa obtido a certificação obrigatória *EurAsian Conformity Mark*. No ano de 2020 inicia a exportação para a Rússia, todavia, decorrente da guerra na Ucrânia e das sanções impostas pela União

Europeia, a venda de produtos para este destino encontra-se suspensa. A exportação desempenha um papel fundamental na organização, representando no ano de 2022 cerca de 96,2% do volume total de vendas. Os principais países de destino são a Alemanha, Itália, França, Hungria, África do Sul e Espanha.

A filosofia da empresa coloca em primeiro lugar o fator de segurança dos seus colaboradores, segundo uma política assente no objetivo de zero acidentes por ano. Um aspeto igualmente significativo é a preocupação com a qualidade total dos processos e produtos, visível no princípio: "Segurança em primeiro. Qualidade sempre!". A empresa tem vindo a atualizar-se e procurar a implementação do *Lean* e respetivas práticas, evidenciando-se o TPM e produção maioritariamente num sistema *pull*. A ELO–Automotive procura produzir apenas para responder às necessidades e pedidos dos clientes numa perspetiva *make to order*. A aplicação da filosofia *Kaizen* tem sido procurada com o intuito de obter melhorias nos processos decorrentes da implementação de ideias e propostas dos operadores, chefias intermédias e responsáveis departamentais, traduzindo-se na redução dos desperdícios produzidos e dos custos de manutenção. O *Lean* é, portanto, valorizado na empresa, possibilitando a melhoria do sistema produtivo e mantendo-a competitiva no mercado. Além disso, tem permitido aumentar a qualidade dos produtos e a satisfação total do cliente, o principal *drive* da empresa. A disseminação e sustentação do *Lean* é vista pela administração como essencial para o sucesso e crescimento da ELO–Automotive.

3.4.2 Caracterização dos produtos e processos

A empresa produz três tipos de molas: Convencionais, Parabólicas e Pneumáticas. Além das molas, a unidade de produção também fabrica elementos auxiliares para a montagem, como abraçadeiras de atraque, pontos e outros acessórios. Em relação à identificação de cada tipo de mola representadas na Figura 3-2, salienta-se:

1. Molas Parabólicas: são fabricadas com aço de espessura até 32 mm e não passam pelo processo de fresagem. Podem sofrer diversas modificações, como canelados (saliências) e pescoços de cavalo (curvaturas). Este tipo de molas é moldado de forma a criar uma curvatura parabólica, o que proporciona as suas características específicas. Possuem maior espessura e secção resistente na área de atraque (zona de fixação) e menor espessura nas zonas de menor tensão.
2. Molas Convencionais: a sua estrutura é composta por várias lâminas de aço de várias espessuras, unidas por um ponto e abraçadeiras nas extremidades. O processo

produtivo este tipo de molas caracteriza-se por não passar pelos processos de retificação e granalhagem.

3. Molas Pneumáticas: caracterizam-se pela elevada espessura do aço, número reduzido de lâminas (1 ou 2) e pela forma que habitualmente adquirem após o processo de moldagem. Um dos tipos de mola é o parabólico em formato de Z, identificada na Figura 3-1.

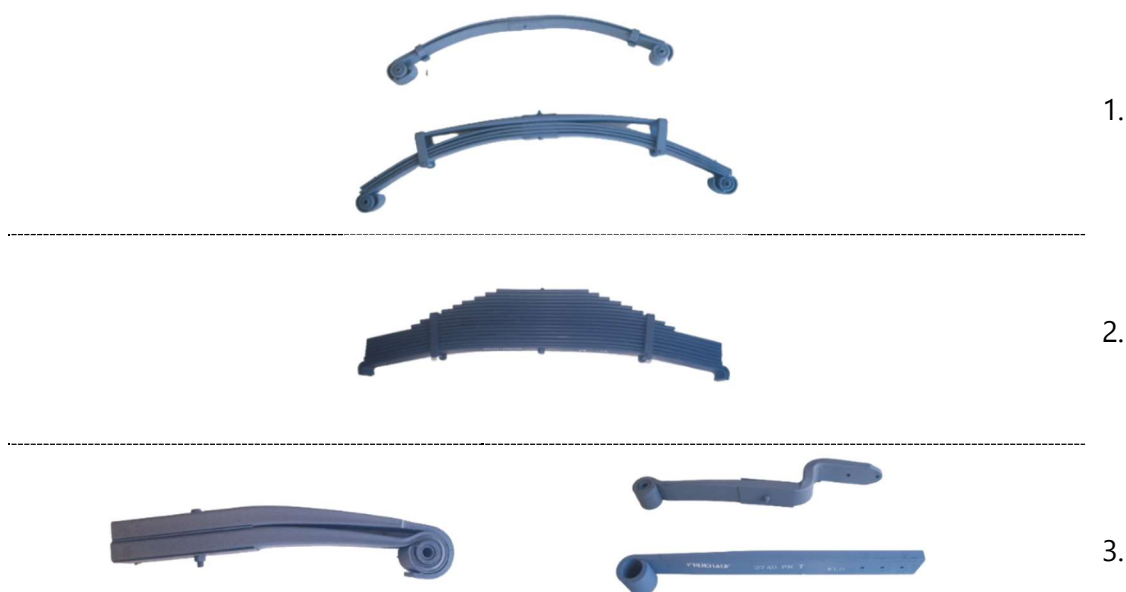


Figura 3-2 – Molas fabricadas: 1. Parabólicas; 2. Convencionais; 3. Pneumáticas

Cada tipologia de produto segue um processo produtivo distinto dependente das suas características, havendo, no entanto, processos semelhantes entre cada tipo de mola. Dentro de cada tipologia de produto ocorrem também variações entre os processos, decorrentes da complexidade do produto e operações complementares exigidas.

3.4.2.1 Análise descritiva dos processos – Molas Pneumáticas

No caso do processo produtivo das Molas Pneumáticas até duas lâminas este é bastante semelhante entre si, podendo ser agrupadas na mesma família. Estes produtos têm uma elevada importância, sendo responsáveis por uma percentagem considerável da produção. Constituem também o tipo de mola com maior grau de dificuldade e exigência técnica, sendo como consequência, as molas onde mais tempo é despendido nos processos produtivos.

O processo produtivo inicializa-se com a receção de uma encomenda por parte do cliente. No caso de ter sido um produto anteriormente fabricado são avaliadas as

necessidades de matéria-prima e realizada uma encomenda ao fornecedor. Caso seja uma primeira produção, é necessário elaborar os desenhos técnicos e conceber a estrutura do produto para avaliar as necessidades de matéria-prima a encomendar. Com base na informação, após o planeamento das necessidades através do *software* de *Material Requirements Planning* (MRP), é emitida uma ordem de fabrico (OF) para o produto encomendado e componentes. Posteriormente, é preparado o trabalho para a fábrica que consiste no preenchimento da especificação do produto setorial com os dados da produção, nomeadamente, OF, quantidade encomendada e prazo de entrega. Os processos produtivos relativos às Molas Pneumáticas encontram-se descritos de seguida:

- **Receção matéria-prima:** O fluxo produtivo inicia-se com a entrada da matéria-prima (aço) proveniente do fornecedor. O aço, nesta fase, encontra-se em barras planas com um comprimento entre os 6 e 8 metros, e é feita a sua identificação de acordo com as suas especificações (comprimento, espessura e constituição). Para classificação é usada a Norma DIN 10092-1. Nesta etapa é efetuado um controlo da qualidade e posterior armazenamento no local designado.
- **Corte:** Após armazenamento, quando o material é requisitado, inicia-se o processo de corte, onde através de uma grua guindaste, as barras de aço são transportadas para o suporte designado e são cortadas de acordo com os parâmetros pretendidos para cada tipo específico de mola. O corte é realizado na Máquina 56 através de um disco abrasivo. Neste setor é fundamental uma gestão eficiente da matéria-prima disponível, de forma a garantir-se a minimização dos desperdícios.
- **Laminagem:** O aço cortado é transportado para o Parque de Laminagem para ser laminado. Podem ser também efetuadas operações de corte frontal e lateral, gravação, furação e moldagem, dependendo do tipo de mola. Cada lâmina de aço passa por este processo duas vezes (uma para cada lado da lâmina), necessitando de um período de arrefecimento entre processos.
- **Desempeno (Mestras):** Após o processo de laminagem, no caso das Lâminas Mestras, estas são transportadas para o Parque de Desempeno, onde é realizada a correção de possíveis empenos que as lâminas sofreram na laminagem a quente.
- **Corte e Furação (Segundas):** No que concerne às Lâminas Segundas, são cortadas ao meio e é feita a furação de acordo com o tipo de mola, sendo o padrão ao centro.
- **Enrolamento:** Para ambas as lâminas (Mestras e Segundas), após aquecimento da extremidade é enrolado o olhal no Setor de Enrolamento, podendo a Lâmina

Mestra ser enrolada duas vezes (bilateralmente). O olhal consiste numa conformação circular na extremidade da lâmina. É no olhal que, posteriormente, são montados os acessórios específicos para cada tipo de mola. São os acessórios que permitem que a mola fique fixa e estável no sistema de suspensão.

- **Corte, Furação e Retificação Lateral:** A Lâmina Mestra pode ser cortada ao meio ou diretamente furada. Posteriormente, realiza-se a retificação do olhal (correção mecânica do material em excesso) e o transporte para o Parque de Tratamento Térmico. No caso das Lâminas Segundas, se a especificação técnica o requisitar, pode ser realizada a retificação lateral ou, caso contrário, são diretamente transportadas para o Parque de Tratamento Térmico.
- **Tratamento Térmico:** No Tratamento Térmico, são realizadas as etapas de têmpera, moldagem e revenido das lâminas de aço, processos que conferem à lâmina a forma pretendida. O aço é aquecido e arrefecido numa série de etapas sob parâmetros de temperatura e tempo rigorosamente controlados. Estes processos são concebidos para alterar as propriedades do aço e conferir-lhe características mecânicas e de resistência (dureza) específicas.
- **Montagem, Acabamentos e Pintura:** Segue-se a montagem das molas. Primeiramente estas passam no processo de granalhagem, através da projeção de granalha esférica de aço a uma velocidade elevada. Após a granalhagem as Lâminas Mestras são mandriladas no interior do olhal e após esta operação são montados os acessórios, que englobam *silent-blocks* (peças idealizadas para absorver vibrações e impactos). Após montagem, efetua-se a fresagem das molas e alguns acabamentos podem ser aplicados à mola, de acordo com as especificações do cliente, antes de esta ser submetida ao procedimento de pintura.
- **Inspeção final e Expedição:** Por último, o produto é submetido a um rigoroso controlo de qualidade. Se for aprovado, após ser devidamente embalado e identificado, é encaminhado para o Parque de Expedição para ser enviado para o cliente.

É essencial aumentar a eficiência de todos os processos, dada a sua relevância, especialmente no caso da Lâmina Mestra Pneumática, peça de maior importância e valor económico na empresa. A eliminação de problemas e redução de desperdícios terá um impacto considerável, como maior produtividade, diminuição de custos, aumento da qualidade e da competitividade do produto no mercado. Na Figura 3-3 pode ser encontrado o diagrama do processo produtivo global simplificado para as Molas Pneumáticas. O foco do

estudo realizado para aplicação do modelo estruturado proposto são os processos que as Lâminas Mestras Pneumáticas atravessam desde a Receção da matéria-prima até ao Tratamento Térmico.

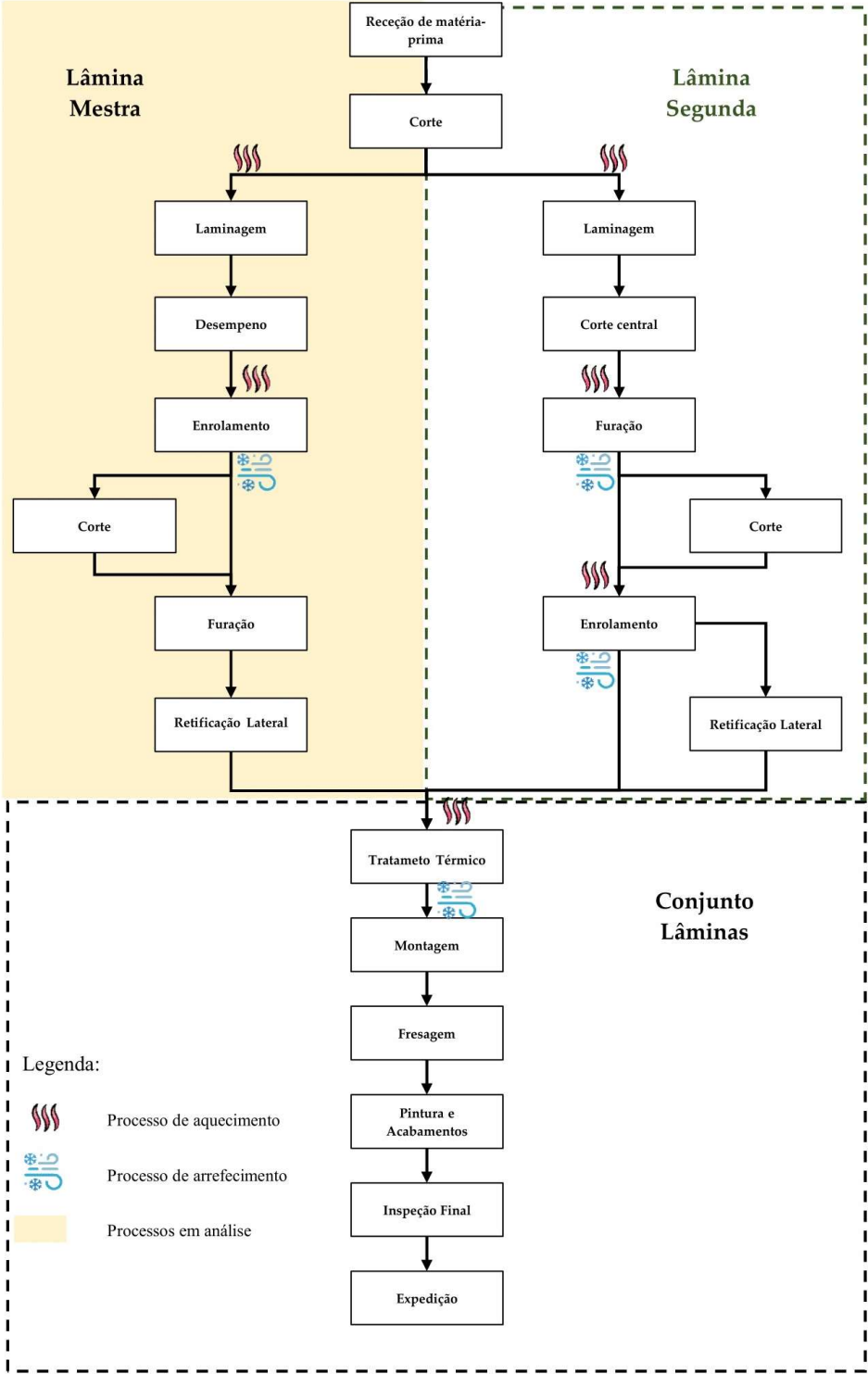


Figura 3-3 – Processos produtivos (Molas Pneumáticas/Em análise)

PROPOSTA DE UM NOVO MODELO ESTRUTURADO *LEAN* PARA ELIMINAR PROBLEMAS E REDUZIR DESPERDÍCIOS

O presente capítulo pretende caracterizar o modelo estruturado proposto para eliminação de problemas e conseqüente redução de desperdícios através da aplicação de ferramentas *Lean*. O modelo estruturado é assente na integração de diferentes ferramentas e procura ultrapassar as limitações das metodologias identificadas na literatura, principalmente na seleção do setor onde atuar, bem como na identificação e priorização de problemas.

4.1 Caracterização de modelos existentes

O *Lean* tem vindo a ser adotado em diversas organizações, com o objetivo de criar valor e reduzir os desperdícios, permitindo aumentar a produtividade. Na literatura, vários estudos foram realizados para propor modelos e metodologias para a implementação do *Lean* [61], [62]. No entanto, as empresas enfrentam dificuldades em selecionar os problemas onde atuar e as ferramentas a aplicar [63].

Verifica-se que foram desenvolvidos diversos modelos que incluem diversos tipos de ferramentas para identificação dos desperdícios e seleção de projetos *Lean* adequados. Através da combinação de ferramentas é possível propor uma solução rápida e eficaz para os principais problemas identificados, proporcionando a redução dos desperdícios. Existem, retratados na literatura, diferentes exemplos da aplicação conjunta de ferramentas e técnicas, entre as quais se destacam: a metodologia FMEA, a QFD, o VSM, o 5 *Whys*, o *Value Stream Analysis Tools* e ferramentas da Qualidade, como as cartas de controlo ou o Diagrama de *Ishikawa* [63]–[68]. Dada a variedade de características que estas técnicas apresentam, a sua

aplicação combinada é muito promissora para o apoio à seleção das ferramentas *Lean* mais adequadas para a minimização dos desperdícios. Outra tendência é a combinação de metodologias como o *Six Sigma* ou o modelo do prémio Malcolm Baldrige para aplicação do *Lean*, permitindo às organizações aumentar a eficiência dos processos [7], [69].

Autores combinam os métodos da QFD difusa, FMEA difusa, análise de *layout* e VSM para determinar quais as ferramentas *Lean* apropriadas. Numa primeira fase, os desperdícios são identificados através do VSM e da análise do *layout*. Com a estrutura da QFD, são integrados números difusos e determinada a importância para os desperdícios. De seguida, é desenvolvida a Casa da Qualidade entre os desperdícios identificados (*whats*) e os recursos críticos (*hows*). Na segunda fase, a FMEA difusa é utilizada para selecionar as ferramentas *Lean* adequadas para os modos de falha dos recursos prioritários [63], [64]. Outros autores, com o objetivo de minimizar os desperdícios no processo de produção utilizando o conceito *Lean*, aplicam um modelo em cinco etapas. O fluxo de valor é mapeado através do VSM, os desperdícios são avaliados com o método Borda e o fluxo de valor é analisado através da ferramenta *Value Stream Analysis Tools*. Por último efetua-se uma análise dos modos de falha e conceção dos respetivos planos de ação com a metodologia FMEA [65].

Num estudo de caso num armazém de distribuição [66], a metodologia proposta abrangeu o diagrama de atividades, o VSM e o *Genba Shikumi*. O estudo comprovou que uma abordagem multi-método pode reduzir significativamente o desperdício operacional, sendo a metodologia proposta capaz de identificar e priorizar os desperdícios nas operações da empresa em estudo. Num outro artigo [67], são analisados os desperdícios e o seu impacto. Inicialmente são efetuadas observações na empresa para identificar as condições atuais de produção e os problemas que ocorrem, onde o VSM é utilizado para caracterizar os fluxos. O próximo passo consiste no método *Waste Assessment Matrix*, constituído por duas etapas. A primeira é a elaboração de uma matriz de relações entre desperdícios e a segunda é a realização de um questionário para avaliação dos desperdícios. Com base nos resultados obtidos pelo método, são feitas recomendações para melhorias usando a análise do método *Kipling*, comumente conhecido como 5W+1H [67].

A metodologia QFD possui uma importância relevante, quer enquanto metodologia combinada, quer aplicada individualmente. De acordo com Rawabdeh (2011), a QFD é uma ferramenta eficaz na identificação, priorização e seleção de ferramentas *Lean* para solucionar problemas em ambientes produtivos. A abordagem do autor consiste na construção de três Casas da Qualidade (HOQ – “*House of Quality*”): HOQ dos Desperdícios, o HOQ das Causas e o HOQ das Ferramentas. Com a colaboração da organização são classificados e identificados

os principais desperdícios (*hows* da HOQ I), sendo os desperdícios prioritários utilizados como *whats* na HOQ II. Na HOQ II identificam-se as causas principais para os desperdícios, utilizadas como os *whats* na HOQ III. Por fim, na HOQ III os *hows* são diversas ferramentas *Lean* e é recomendada a implementação daquelas que obtiveram maior pontuação [68].

Para o caso concreto das PMEs, Mohammad e Oduoza (2019) propõem um método que integra ferramentas e técnicas *Lean* com os critérios do modelo do prêmio Malcolm Baldrige [7]. Este prêmio, constituído por sete dimensões integradas, foi criado visando estimular a competitividade e desenvolver uma cultura de qualidade. Os autores consideram que a combinação destas duas abordagens estratégicas num único modelo será uma vantagem para as PMEs e pode acelerar a sua transição para um desempenho *Lean* de excelência [7].

Em [69] é desenvolvido um modelo *Lean Six Sigma*, tendo por base uma abordagem simples, para alcançar melhorias significativas na qualidade dos produtos de uma empresa. Este modelo pretende integrar as singularidades das operações de fabrico das PMEs. Um dos objetivos do modelo é ultrapassar os entraves invocados pelas PMEs de que a aplicação do *Lean Six Sigma* não é viável neste ambiente produtivo.

4.2 Lacunas e limitações dos modelos existentes

Verifica-se a existência de diversas metodologias e modelos híbridos que combinam diferentes ferramentas. Estes permitem a redução dos desperdícios e desenvolver uma cultura de melhoria contínua. No entanto, a maioria apresenta diversas lacunas, como a necessidade de colaboradores com elevadas qualificações ou estarem apenas limitados aos gestores de topo [63], [64], [66], [67]. Muitas das metodologias e modelos referidos utilizam técnicas complexas, como a lógica difusa, em que a sua compreensão na organização só é possível pela gestão e departamentos de engenharia [63], [64]. Num ambiente de melhoria contínua pretende-se que haja o contributo inclusivo de todos os envolvidos no processo, especialmente dos operadores, visto que são eles que lidam diretamente com os problemas e possuem maior conhecimento "*in loco*". Diversos modelos têm uma estrutura complexa, algo que é difícil de adotar considerando os recursos limitados de uma PME [69]. A ausência de uma descrição detalhada da metodologia de implementação limita a compreensão e aplicação de alguns dos modelos referidos [66], [67].

Um dos principais entraves verificados nos modelos de eliminação dos desperdícios é a desconsideração das inter-relações entre os diferentes tipos de desperdício e as relações

existentes entre as causas-raiz. A QFD é uma ferramenta que considera estas inter-relações e analisa-as com sucesso, como no caso de Rawabdeh (2011) [68]. Ainda assim, a utilização sucessiva de três Casas da Qualidade, onde são introduzidos diferentes parâmetros e a necessidade de classificação para todas as relações existentes, torna a metodologia bastante extensa e morosa, podendo levar a uma desconsideração dos envolvidos no processo. O foco na seleção de recursos críticos ou desperdícios prioritários implica que problemas com um impacto considerável em outros tipos de desperdícios, ou recursos, sejam desconsiderados. Conclui-se que a literatura consultada para este documento não integra um modelo estruturado de aplicação prática e intuitiva. Nenhum dos modelos analisados identifica e prioriza os principais problemas numa área fabril onde o impacto dos desperdícios é mais acentuado. Desta forma, o desenvolvimento de um modelo que ultrapasse estas lacunas será oportuno, possibilitando o aumento da produtividade do sistema através da aplicação adequada de ferramentas *Lean*.

4.3 Apresentação do modelo estruturado proposto

O modelo estruturado proposto, através da utilização combinada de ferramentas e com o envolvimento de colaboradores da organização, pretende identificar os principais problemas existentes num setor identificado como crítico. São então identificadas as causas-raiz e sugeridas ferramentas *Lean* para a eliminação dos problemas. Embora o modelo estruturado proposto seja direcionado para o contexto do estudo de caso, é extensível a qualquer projeto de melhoria contínua em organizações industriais, principalmente quando se pretende uma execução faseada.

O modelo estruturado encontra-se subdividido em 6 etapas principais, sendo que para cada uma das etapas são alocadas ferramentas específicas. Num modelo estruturado encontram-se representados os passos a realizar e a forma como se relacionam. A vantagem desta abordagem é o facto de permitir compreender a natureza de um processo, os seus níveis e relações, facilitando o planeamento e a implementação do modelo [70]. Salienta-se que o modelo é adaptável, podendo utilizar-se outro tipo de ferramentas que sirvam o mesmo propósito. Na Figura 4-1 encontra-se representado o fluxograma do modelo estruturado proposto, com cada uma das etapas identificada. Cada etapa será descrita, bem como as ferramentas propostas.

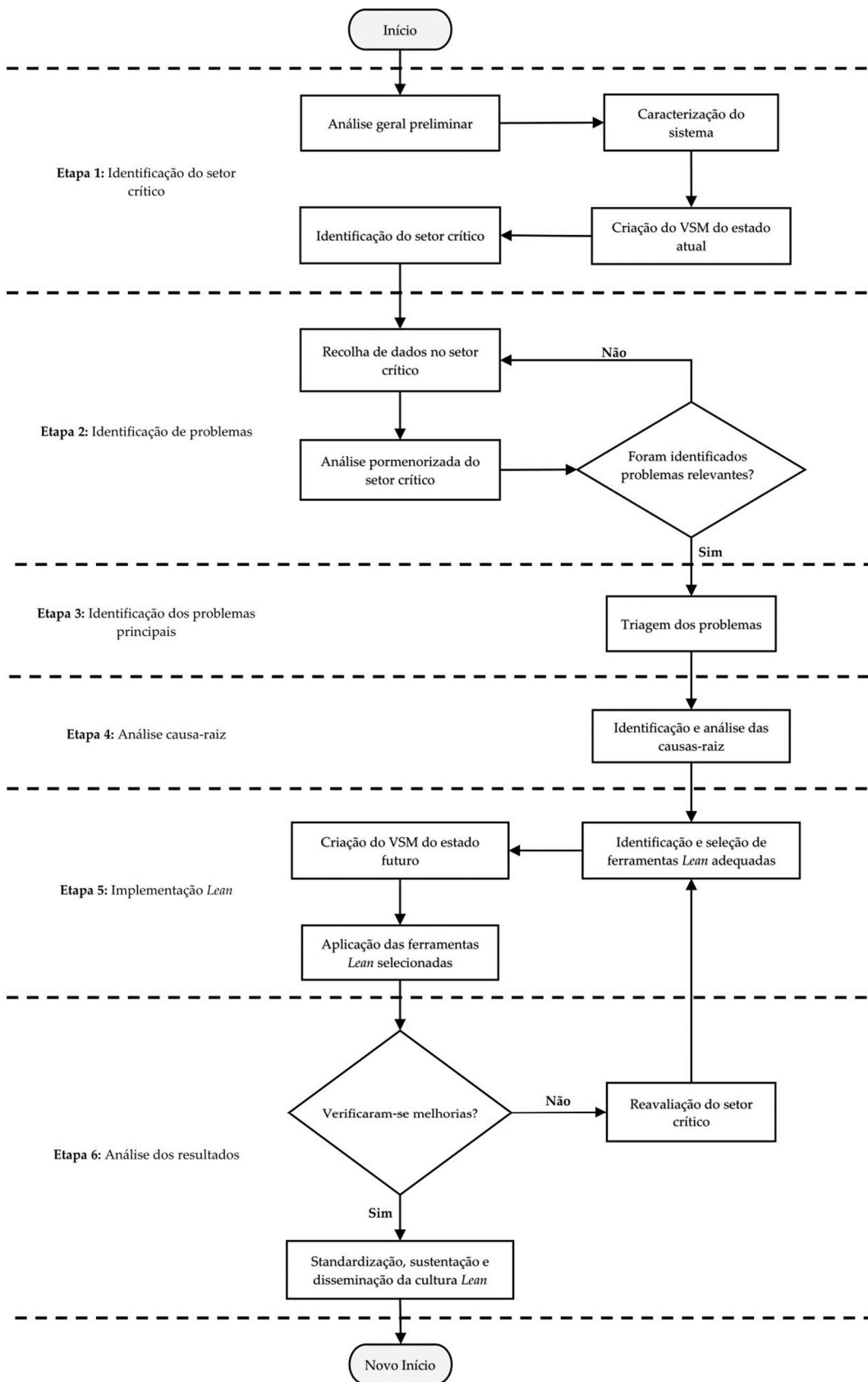


Figura 4-1 – Modelo estruturado proposto para redução de desperdícios através da eliminação de problemas para promoção da cultura *Lean*

4.3.1 Etapa 1: Identificação do setor crítico

Na Tabela 4-1 é apresentada a primeira etapa, cujo objetivo é identificar o setor crítico.

Tabela 4-1 – Etapa 1 do modelo estruturado proposto

Ferramentas Propostas	Representação
<ul style="list-style-type: none">• Entrevistas (formais/informais) e questionários;<ul style="list-style-type: none">• <i>Gemba Walks</i>;• Mapeamento do Fluxo de Valor - VSM do estado atual;	<pre>graph TD; Início([Início]) --> AP[Análise geral preliminar]; AP --> CS[Caracterização do sistema]; CS --> CVA[Criação do VSM do estado atual]; CVA --> ISC[Identificação do setor crítico]; ISC --> Fim[];</pre>

Numa organização, os recursos disponíveis são limitados, sobretudo no que concerne à alocação e disponibilidade de capital para investir, assim como restrições relacionadas com a alocação da mão-de-obra disponível. A filosofia *Lean*, com a sua correta implementação, consegue ultrapassar algumas destas limitações, uma vez que procura aliar diferentes técnicas, numa perspetiva de melhorar a utilização dos recursos. Para as PME, embora tenham sido desenvolvidos diversos sistemas de apoio à decisão que auxiliam as empresas na seleção e avaliação das ferramentas *Lean* a serem implementadas [71], a alocação de recursos é bastante crítica. No presente modelo considera-se essencial a identificação do setor crítico do sistema em análise. O setor crítico é definido como a área fabril onde se verificam mais desperdícios e em que o contributo das ferramentas *Lean* será essencial para a sua redução.

Através da identificação do setor crítico, é possível direcionar os recursos e numa fase posterior, alargar a implementação do *Lean* a outras áreas. Desta forma, o modelo considera uma perspetiva incremental, consistindo numa análise faseada, não invalidando a extensão das ferramentas aplicadas a outros setores onde se verifiquem problemas semelhantes, ampliando os benefícios alcançados com a adoção do *Lean*. É importante ressaltar que, em empresas sem uma cultura de melhoria contínua já estabelecida, ser-se demasiado ambicioso e tentar promover uma completa transformação cultural pode levar ao fracasso na implementação do *Lean*. Os colaboradores podem não compreender a necessidade de se efetuarem mudanças e terem dificuldades em constatar os benefícios obtidos [6], [7]. Assim, o modelo inicia-se pela identificação do setor com uma elevada incidência de desperdícios e

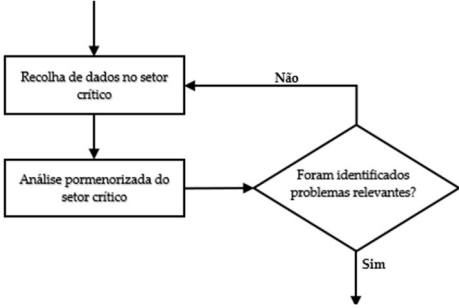
onde a sua diminuição seja significativa para a organização. A aplicação de ferramentas *Lean* resultará em melhorias significativas, atuando como um impulsionador à adoção da filosofia de melhoria contínua.

Inicialmente, para compreensão dos processos alvo de análise e o seu estado atual, é necessário adquirir dados e informações sobre os mesmos. Para tal, propõe-se que seja efetuada uma análise geral preliminar, através de entrevistas formais ou informais e questionários. Os *Gemba Walks* são importantes para este efeito de acordo com [20]. Após esta fase inicial o sistema é caracterizado e sucede-se a análise quantitativa do seu estado atual com a aplicação do VSM. Para a construção desta ferramenta será necessário recolher dados para as métricas utilizadas que poderão ser obtidos através de processos de medição realizados pelo observador ou, caso existam e sejam válidos, através dos sistemas de informação da organização. Os dados a recolher poderão variar, mas destaca-se o tempo de ciclo, tempo de entrega, tempo de *setup*, distância percorrida e o WIP [19]. Com a taxa de procura em vigor, é possível calcular o *takt time*. Através da análise dos resultados obtidos com o VSM, será, à partida, possível identificar o setor que deverá ser o foco para aplicação. Por exemplo, um tempo de ciclo de uma operação superior ao *takt time* ou aos outros tempos de ciclo, indicará que o processo é crítico. Adicionalmente, um *changeover time* ou WIP elevado também indiciam a existência de diversos problemas. Nesta etapa, é importante recolher opiniões dos colaboradores para compreensão das atividades que não acrescentam valor e possíveis dificuldades/restrições que as suas tarefas possam ter. Desta forma, conjuntamente com o contributo das chefias, o setor crítico foco de análise é identificado.

4.3.2 Etapa 2: Identificação de problemas

Posteriormente à identificação do setor crítico efetua-se uma análise exaustiva a este mesmo setor, através da utilização das ferramentas propostas na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 – Etapa 2 do modelo estruturado proposto

Ferramentas Propostas	Representação
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Genchi Genbutsu</i>; • Questionários; • <i>Brainstormings</i>; • Análise de dados (documentos/dados internos); 	 <pre> graph TD Start(()) --> A[Recolha de dados no setor crítico] A --> B[Análise pormenorizada do setor crítico] B --> C{Foram identificados problemas relevantes?} C -- Sim --> Exit(()) C -- Não --> A </pre>

O VSM destaca-se na literatura como um dos métodos mais populares para identificação dos desperdícios [66]. Embora no levantamento inicial e com a construção do VSM sejam identificados diversos problemas do setor crítico, deve ser executada uma caracterização completa e uma análise pormenorizada desta área fabril para identificação integral dos problemas existentes. Para esta análise efetuam-se *Genchi Genbutsu* e através da observação das atividades efetuadas no setor são registados os problemas. Adicionalmente, para identificação de problemas recorrentes é vantajoso recolher-se informações através da realização de questionários aos operadores e/ou chefias. Através destes, obtém-se um registo fundamentado e documentável dos principais problemas e constrangimentos existentes no setor de trabalho.

Sessões de *Brainstorming* informais, com operadores, supervisão, Departamentos de Qualidade e Manutenção, etc., são relevantes para esta etapa. Habitualmente, muitos problemas encontram-se "ocultos" e não são facilmente identificáveis. Como consequência, o envolvimento e a participação de todos os colaboradores é essencial para se obter, em detalhe, os problemas que afetam a produtividade do setor. Desta forma, obtém-se uma visão minuciosa e detalhada de cada problema. Para o registo das informações, sugere-se a utilização da Tabela 4-3, onde se encontra identificada a operação/área, o problema, uma pequena descrição e as consequências referentes aos desperdícios e a outros parâmetros que possam ser considerados relevantes. Se for viável, é também útil a recolha de fotografias, representações e/ou vídeos ilustrativos dos problemas para poder documentá-los e analisá-los posteriormente.


Tabela 4-3 – Sugestão para recolha de informações

Operação/Área	Problema	Descrição	Consequências	Fotografia/Representação
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX

4.3.3 Etapa 3: Identificação dos problemas principais

Na terceira etapa da aplicação do modelo estruturado proposto, esquematizada na Tabela 4-4, procede-se à utilização da Casa da Qualidade e do Princípio de Pareto para triagem dos problemas.

Tabela 4-4 – Etapa 3 do modelo estruturado proposto

Ferramentas Propostas	Representação
<ul style="list-style-type: none"> • QFD; • Princípio de Pareto; 	 <pre> graph TD A[Sim] --> B[Triagem dos problemas] B --> C[] style C fill:none,stroke:none </pre>

A metodologia integra a QFD através da adaptação da Casa da Qualidade dos Desperdícios - "*waste* HOQ" - presente no modelo proposto em [68]. Neste modelo, os sinais (*whats* da Casa da Qualidade), são obtidos a partir da definição dos 7 *Muda* e de uma visão generalizada proveniente da literatura e de especialistas. No modelo proposto os *whats* são obtidos através dos problemas identificados na Etapa 2: Identificação de problemas. Estes seguem uma divisão por categorias, semelhante à de [68]: Método, Meio Ambiente, Material, Mão-de-obra, Máquina e Métrica (6 M's); excluindo-se o "Dinheiro", na medida que problemas que englobem o fator custo não são considerados.

Nos *hows*, para além dos 7 tipos de desperdícios (*Muda*), também se considera relevante a possibilidade de inclusão de outros tipos de desperdícios, como é o caso do Desperdício de Potencial Humano, entre outros. A correlação entre cada par dos *hows* é representada por um símbolo no telhado da Casa da Qualidade. Poderá verificar-se uma correlação negativa, positiva ou inexistente, sendo introduzidos 2 graus para as correlações negativas e positivas. Desta forma, a melhoria de um dos *hows* levará a uma melhoria, agravamento ou não terá efeito nos outros. Por exemplo, uma redução no desperdício de sobreprodução levará a uma redução no desperdício de inventário [68]. Esta análise permite reconhecer que se um desperdício afetar diversos outros, deve ser o foco da melhoria. As correlações são preenchidas não apenas considerando a literatura, mas também tendo em conta as especificidades existentes em cada sistema produtivo.

O processo de classificação deve envolver a participação das equipas operacionais da organização e dos respetivos departamentos funcionais de produção, qualidade e engenharia. Para este processo, são utilizados métodos semelhantes aos do modelo de Rawabdeh (2011) [68]:

- Para a importância dos problemas é utilizada uma escala de Likert de 1 a 5, em que 5 representa a maior importância de um problema e 1 a menor. Com base nesta escala os inquiridos podem facilmente avaliar o impacto dos problemas nos diferentes desperdícios. A escala de Likert é um método de recolha de dados

eficiente e pouco dispendioso, que permite gerar resultados adequados para inferência estatística e que facilita a análise de dados [72];

- São utilizadas três categorias para avaliação da relação entre o problema e os desperdícios: forte (com nove pontos, representada por ●), média (com três pontos, representada por ○) ou fraca (com um ponto, representada por ▽). A pontuação de cada problema consiste na sua influência em cada desperdício [68];
- No modelo proposto, a classificação dos problemas foi a principal alteração à HOQ I apresentada no modelo de Rawabdeh (2011). Neste modelo, a classificação do problema (*whats*) é feita apenas através do somatório das relações entre problemas e desperdícios [68]. Como o modelo proposto concentra-se na identificação e resolução de problemas prioritários, considera-se relevante efetuar um cálculo para classificação problema, a partir do somatório da multiplicação da importância do problema e da relação com os diferentes desperdícios. É a partir da classificação obtida que os problemas de maior prioridade são identificados. Assim, um problema pode ter um impacto em diversos desperdícios (*hows*), mas possuir uma importância reduzida, o que será refletido na sua classificação. Para classificação dos problemas é proposta pelo autor a utilização da Equação 4.1, onde “N” representa os diferentes desperdícios:

$$\text{Classificação do problema}_i = \sum_{j=1}^N (\text{Importância do problema}_i \times \text{Relação entre o problema}_i \text{ e o desperdício}_j) \quad (4.1)$$

- Através do processo de classificação dos desperdícios, são identificados aqueles onde existe um maior impacto dos problemas, ou seja, quais os tipos de desperdício mais influenciados pelos problemas. Para definição da importância dos desperdícios é utilizada a Equação 4.2, baseada na proposta em [68], onde “n” representa os diversos problemas identificados:

$$\begin{aligned} \text{Classificação dos desperdícios}_j \\ = \sum_{i=1}^n (\text{Importância do problema}_i \times \text{Relação entre o problema}_i \text{ e o desperdício}_j) \end{aligned} \quad (4.2)$$


Através da abordagem apresentada, é possível identificar os problemas de maior importância, considerando o seu impacto nos desperdícios. A organização fica também a conhecer os desperdícios que mais afetam o desempenho do seu processo produtivo e para os quais devem ser pensadas soluções. Após classificação dos problemas, é utilizado o Princípio de Pareto, em que os problemas de maior importância são selecionados para a fase

seguinte. Desta forma, a organização pode alcançar resultados mais efetivos na redução de desperdícios e na melhoria geral do sistema produtivo.

4.3.4 Etapa 4: Análise das causas-raiz

Encontrados os problemas prioritários estes devem ser alvo de um estudo para identificação da causa-raiz (Tabela 4-5).

Tabela 4-5 – Etapa 4 do modelo estruturado proposto

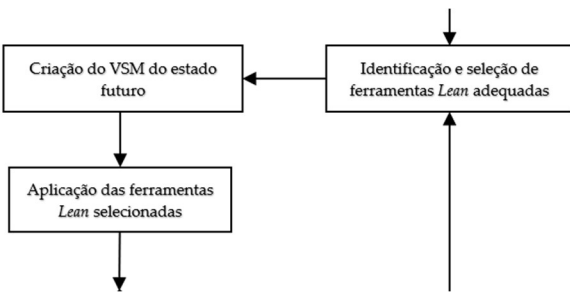
Ferramentas Propostas	Representação
<ul style="list-style-type: none"> • 5 <i>Whys</i> 	

Com a aplicação da ferramenta 5 *Whys*, através de uma relação de causa-efeito, é possível obter as causas-raiz que provocam os problemas priorizados foco de análise. Para alguns dos problemas identificados como prioritários a causa-raiz é facilmente determinada, enquanto para outros é necessário atingir o número dos 5 "Porquês". Decorrente desta análise, é possível encontrar a causa concreta do problema e averiguar a(s) ferramenta(s) *Lean* adequada(s) para resolvê-lo.

4.3.5 Etapa 5: Implementação do *Lean*

Com as causas-raiz identificadas segue-se a aplicação de ferramentas *Lean* adequadas (Tabela 4-6).

Tabela 4-6 – Etapa 5 do modelo estruturado proposto

Ferramentas Propostas	Representação
<ul style="list-style-type: none"> • Produção <i>pull</i>, SMED, 5S, <i>Kaizen Events</i>, <i>Kanban</i>, diagrama de esparguete, relatório A3, gestão visual, <i>Yamazumi</i>, <i>design</i> do <i>layout</i>, <i>Jidoka</i>, <i>Heijunka</i>, <i>Standardized Work</i>, etc. • Mapeamento do Fluxo de Valor - VSM do estado futuro; 	

Para solucionar as causas-raiz dos problemas prioritários, são escolhidas ferramentas ou projetos *Lean* adequadas relativas a cada uma. As ferramentas *Lean* são escolhidas a partir das identificadas na literatura e com base nos interesses dos principais decisores da organização. A escolha da ferramenta *Lean* deve ser direcionada para solucionar a causa concreta do problema em análise. É necessário procurar adequar a ferramenta *Lean*, uma vez que diversas servirão para o mesmo propósito.

Após seleção das ferramentas, o VSM do estado futuro construído nesta fase, permite facilmente e visualmente verificar as melhorias que se pretendem ver atingidas no setor crítico, por exemplo, diminuição do tempo de ciclo ou do *changeover time*. As ferramentas selecionadas poderão ter efeitos positivos em mais do que um problema, incluindo não prioritários, contribuindo para uma diminuição eficaz dos desperdícios e aumento da produtividade.

4.3.6 Etapa 6: Análise dos resultados

Após a implementação das ferramentas *Lean*, é necessário efetuar uma análise dos resultados e verificar o sucesso ou insucesso da implementação das mesmas (Tabela 4-7).

Tabela 4-7 – Etapa 6 do modelo estruturado proposto

Ferramentas Propostas	Representação
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Genchi Genbutsu</i>; • Auditorias <i>Kamishibai</i> e questionários; • <i>Brainstorming</i>; 	<pre> graph TD Start(()) --> Decision{Verificaram-se melhorias?} Decision -- Não --> Reavaliacao[Reavaliação do setor crítico] Decision -- Sim --> Standardizacao[Standardização, sustentação e disseminação da cultura Lean] Standardizacao --> NovoInicio([Novo Início]) Reavaliacao --> Start </pre>

É essencial analisar se ocorreram melhorias, ou seja, se a causa-raiz e problema foram eliminados. Os resultados da aplicação das ferramentas implementadas devem ser analisados, através de *Genchi Genbutsu*, auditorias *Kamishibai* e/ou questionários. Em caso de insucesso, deverá ser elaborada uma reavaliação do setor crítico e considerada a implementação de outro tipo de ferramentas *Lean* ou uma nova abordagem para as ferramentas aplicadas. Esta avaliação deve ser efetuada em conjunto com todas as entidades envolvidas no projeto *Lean* e com os diversos departamentos da organização. Se pelo

contrário, tenham sido verificadas melhorias, o objetivo no setor passará pela standardização, sustentação e disseminação da cultura *Lean*, servindo de exemplo prático do seu sucesso e permitindo o desenvolvimento de uma filosofia de melhoria contínua.

Terminada esta etapa inicia-se um novo ciclo do modelo. Em caso de validade dos dados previamente recolhidos, pode-se, nesse caso, avançar-se diretamente para a Etapa 2, onde é identificado outro setor crítico. Caso se verifiquem alterações no processo ou aplicação do modelo em outro sistema produtivo, deverá ser novamente efetuada uma análise e caracterização do sistema (Etapa 1).

APLICAÇÃO DO MODELO ESTRUTURADO

No presente capítulo são aplicadas as etapas de implementação do modelo estruturado proposto no estudo de caso apresentado.

5.1 Etapa 1: Identificação do setor crítico

5.1.1 Análise geral preliminar e caracterização do sistema

Para compreensão dos processos que as Lâminas Mestras atravessam desde a Recepção da matéria-prima até ao Tratamento Térmico e o seu estado atual, foi necessário recolher dados e informações. Primeiramente, realizou-se uma apresentação geral da empresa e dos principais problemas envolvendo os processos em análise. Com o acompanhamento de colaboradores da empresa, efetuaram-se visitas à área fabril e aos diversos setores, permitindo uma análise inicial das atividades.

Numa fase posterior, realizaram-se diversos *Gemba Walks*, consistindo essencialmente na observação dos processos e entrevistas informais aos operadores, nas quais estes descreviam as principais dificuldades que possuem na execução das suas tarefas. Realizaram-se também reuniões com a responsável pelo Planeamento e Gestão da Produção e com o Diretor Fabril, para identificação dos processos e setores mais críticos. Dos processos alvo de análise, podem ser retirados os seguintes setores como de maior importância e com maiores dificuldades envolvidas: Laminagem 403, Corte 56 e Enrolamento 310 (Tabela 5-1).

Tabela 5-1 – Resumo das dificuldades dos setores de maior importância

Setor	Principais dificuldades/obstruções identificadas
Laminagem 403	<ul style="list-style-type: none"> • Componente manual elevada • Condições de trabalho • Elevado número de operações
Corte 56	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de ciclo elevado • Complexidade do processo
Enrolamento 310	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de <i>setup</i> elevado • <i>Layout</i> inapropriado • Desorganização do espaço • Complexidade do processo

Uma percentagem elevada da produção, cerca de 90%, atravessa o processo de laminagem. No setor de Laminagem 403 as lâminas Pneumáticas transformam-se mecanicamente por um processo de deformação plástica quente e as suas operações são de elevada especificidade e rigor técnico. Engloba, habitualmente, diversas operações, tais como: cortes frontais e/ou laterais, gravações, pescoços de cavalo, canelados, furações, entre outras. Dado o elevado número de operações, é fundamental a preparação do trabalho no local, para que possa haver uma melhor rentabilidade no processo de mudança de ferramenta. Destaca-se ainda pela necessidade de arrefecimento das lâminas, uma vez que são laminadas bilateralmente.

No caso do setor de trabalho, Corte 56, é a única área fabril onde é possível efetuar a operação de corte de todas as lâminas Pneumáticas, com o cumprimento de tolerâncias de corte apertadas (+/- 1 mm) e com a cadência de produção exigida.

O setor de trabalho de Enrolamento Mestra 310 é considerado na organização um possível *bottleneck*, uma vez que cerca de 70% da produção total passa neste setor e o único com capacidade de enrolamento das Lâminas Mestras Pneumáticas. Constitui um processo demorado quanto ao aquecimento das lâminas e arrefecimento das lâminas enroladas bilateralmente. Adicionalmente, é uma máquina cujo *setup* é complexo em que frequentemente o tempo de *setup* é superior ao tempo de operação. A produção em pequenos lotes, aumenta a complexidade da produção neste setor, sendo esta a principal restrição. Os equipamentos existentes são complexos, principalmente na configuração necessária para o robô existente. No setor de Retificação Lateral 315 também se verificam diversas dificuldades, mas à data da observação encontra-se em desenvolvimento um equipamento para melhorar o processo,

5.1.2 VSM

Para mapeamento e análise quantitativa atual do processo, foi utilizada a ferramenta VSM, que é o ponto de partida fundamental para a diferenciação entre valor e desperdício. Os dados utilizados no mapeamento foram recolhidos durante os meses de Março e Abril de 2023, e os valores apresentados correspondem à sua média aritmética. As métricas utilizadas incluíram o tempo de ciclo (C/T), tempo de maquinação (M/T), *changeover time* (C/O) e quantidade de produtos defeituosos (*scrap*). No caso dos fornos é também referida a sua capacidade para cada lote de produção. Foram igualmente recolhidas informações sobre a quantidade de *stock* intermédio e a distância percorrida entre os processos.

Atualmente, a maioria dos setores da fábrica opera 5 dias por semana, num turno diário de 8 horas, ao qual acresce o período de almoço. Diariamente, os operadores têm também direito a uma pausa de 10 minutos (pequeno-almoço), resultando num tempo operacional líquido de 470 minutos/dia. No Apêndice A encontra-se o VSM construído. Existem três variações nos processos que cada tipo de Lâmina Mestre Pneumática atravessa até ao Tratamento Térmico, evidenciadas no VSM. Por exemplo, nem todas as lâminas são enroladas bilateralmente.

A soma do tempo de ciclo de todas as fases do processo permitiu obter o TCT, cujo resultado foi 19,67 minutos. A soma do tempo de entrega permitiu obter o PLT de 3,5 dias úteis. Verifica-se que a percentagem de tempo ocupada em atividades de valor acrescentado, através do quociente entre o TCT e o PLT, é de 1,2%, um valor que indica que 98,8% do tempo é ocupado em atividades que não acrescentam valor. Contudo, é importante referir que uma percentagem relevante do PLT está diretamente relacionado com o arrefecimento necessário das lâminas antes dos processos subsequentes, bem como as exigências físicas e mecânicas para permitir a sua manipulação. É evidente que outro aspeto específico do processo produtivo, o aquecimento das lâminas nos fornos, ocupa uma percentagem considerável do tempo de ciclo total. Alterações nos processos de arrefecimento e aquecimento, de forma a agilizar os processos, acarretam elevados custos financeiros. Desta forma, não serão alvo de análise para a identificação do setor crítico.

Assim, de acordo com a equação 2.1 e considerando os dados históricos de procura do Tratamento Térmico em 2022 de 90 Molas Pneumáticas por dia, obtém-se um *takt time* de 5,22 minutos/mola para o processo de fabrico de uma Lâmina Mestre. Na Tabela 5-2 encontram-se os tempos de ciclos cronometrados por equipamento, associados à produção de uma Mola Pneumática, que atravessa por todas as etapas.

Tabela 5-2 – Tempos de ciclos cronometrados por equipamento

Equipamento	Tempo de Ciclo (minutos/peça)
Corte 56	4,16
Forno 545	1,5
Laminagem 403	2,5
Desempeno 671	2,45
Forno 548	1,34
Enrolamento 310	2,66
Furação 157	2,67
Retificação Lateral 315	2,5

Na Figura 5-1, em função do *takt time* calculado, é evidenciado que em todos os setores os tempos de ciclo são inferiores ao *takt time*. Verifica-se, assim, que a capacidade disponível permite cumprir com a procura interna por parte do setor de Tratamento Térmico.

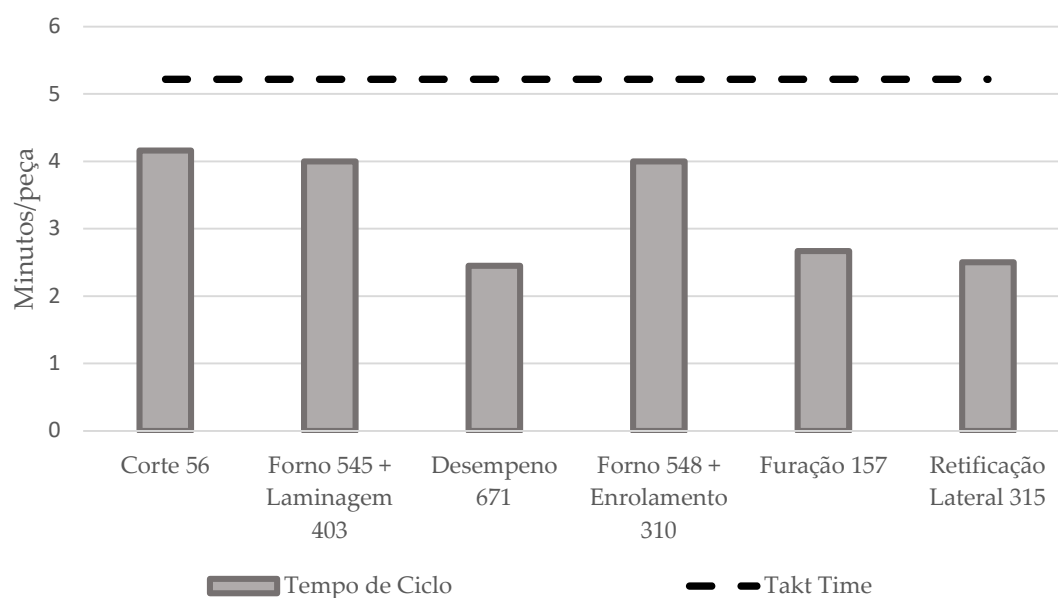


Figura 5-1 – Somatório dos tempos de ciclo dos setores em relação ao *takt time*

Através da análise do VSM verifica-se que o tempo de *setup* dos equipamentos do setor de Enrolamento 310 é excessivamente elevado comparativamente aos outros setores. Acresce ainda o facto do equipamento onde é efetuado o enrolamento da Lâmina Mestra possuir capacidade de maquinaria das Lâminas Segundas, algo que de momento não efetua. Este aspeto salienta não só a necessidade de reduzir e melhorar os tempos de mudança de ferramenta, bem como eliminar possíveis atividades de valor não acrescentado durante o processo. Adicionalmente, embora o tempo de ciclo do enrolamento seja inferior ao de outras operações, verificam-se diversas paragens não programadas e diversos tipos de

desperdícios como elevados tempos de espera e movimentações excessivas que afetam a produtividade do setor onde esta operação é realizada. Após avaliação da informação recolhida e do mapeamento efetuado, o setor considerado como crítico é o Enrolamento Mestra (310). Será nesta área fabril que se irá concentrar a aplicação do modelo. Embora o intuito desta seleção seja a alocação de recursos, após a resolução dos principais problemas identificados, pretende-se a disseminação das ferramentas e filosofia *Lean* a outros setores que podem ser abrangidos pelo estudo efetuado.

5.2 Etapa 2: Identificação de problemas

5.2.1 Caracterização do setor

No setor identificado como crítico – Enrolamento Mestra (310), realiza-se a operação de enrolamento das Lâminas Mestras. Neste processo são efetuados os olhais em formato de anel, nos quais serão posteriormente montados os acessórios específicos para cada tipo de mola. Dentro de cada família de produto verificam-se heterogeneidades relativas a: tamanho do olhal, distância em relação ao centro, espessura, entre outros. As referências são então agrupadas em função da espessura e largura da matéria-prima. Verifica-se uma considerável variabilidade produtiva, conseqüente das constantes alterações necessárias nas configurações dos equipamentos exigidas pela produção em pequeno lote.

No setor, a extremidade da lâmina é aquecida no forno 548 até à temperatura designada, à medida que se movimenta num transportador. Em seguida, é efetuado o corte do material em excesso e o chanfro, procedendo-se ao enrolamento na Máquina 310. Caso seja necessário, poderá também ser efetuada a gravação a quente na máquina 209. Após o enrolamento, as lâminas com enrolamento unilateral vão para o Parque de Furação e Fresagem, aguardar pela realização destas operações. No caso das lâminas enroladas bilateralmente, são transportadas para o Parque de Arrefecimento, onde através da ação de ventiladores procede-se ao arrefecimento do lado enrolado. Após o arrefecimento, as lâminas são novamente transportadas para o Setor de Enrolamento Mestra (310), sendo efetuado o mesmo processo e enrolado o lado contrário. Na Tabela 5-3 encontram-se identificados e caracterizados os principais equipamentos do setor de Enrolamento Mestra (310).

Tabela 5-3 – Equipamentos do Setor de Enrolamento Mestra (310)

Equipamento(s)	Descrição	Representação
<p>Forno 548/ Transportador</p>	<p>As lâminas são colocadas num transportador, alimentado por um operador através de um elevador magnético, para que a extremidade seja aquecida no Forno 548. A cadência do transportador e a temperatura do forno dependem do tipo de lâmina em processamento, mas à exceção de casos específicos, variam entre as 30 a 40 lâminas por hora e entre 880 °C e 1090 °C.</p>	 <p>Foto de uma linha de produção industrial onde se vê um forno grande e um transportador de lâminas.</p>
<p>Máquina de Enrolamento 310</p>	<p>Efetua o corte do material em excesso no processo de corte, chanfro e enrolamento lâmina na extremidade aquecida no Forno 548, introduzida pela Mesa de Alimentação. De acordo com o modelo da mola e as suas especificidades (diâmetro do olhal pretendido, posição em relação ao centro, espessura da lâmina e abertura do olhal) têm de ser efetuadas mudanças de ferramenta.</p>	 <p>Foto de uma máquina industrial verde e amarela, identificada com o número 310, utilizada para o enrolamento de lâminas.</p>
<p>Mesa de Alimentação</p>	<p>Integra a Máquina de Enrolamento 310 e é responsável por segurar e mover as lâminas antes e após maquinação. As lâminas de aço são colocadas pelo Robô 646 na Mesa de Alimentação, que através de um sistema hidráulico configurado para cada lote de produção movimenta-as até à entrada da Máquina 310 antes do enrolamento e retira-as após a conclusão do processo produtivo.</p>	 <p>Foto detalhada da mesa de alimentação, mostrando o sistema hidráulico e os mecanismos de transporte das lâminas.</p>

Tabela 5-3 – Equipamentos do Setor de Enrolamento Mestra (310) (continuação)

Equipamento(s)	Descrição	Representação
Paletizador	<p>Após o enrolamento, as lâminas são transportadas pelo Robô 646 desde a Mesa de Alimentação até as correntes transportadoras do Paletizador. Este equipamento possui um sensor que registra a movimentação do Robô 646. De acordo com a largura das lâminas de aço enroladas, configurada no controlador do Paletizador, quando se atinge o número pretendido, é iniciada a paletização automática através de um sistema hidráulico de garfos que coloca as lâminas na paleta.</p>	
Robô 646	<p>O transporte das lâminas à saída do transportador até à Mesa de Alimentação da Máquina 310, e após o processo produtivo da Mesa de Alimentação até ao Paletizador, é operacionalizado por um dispositivo eletromecânico robotizado, constituído por uma base rotativa, articulações de cotovelo e pulso e uma pinça funcional que segura as lâminas. Possui posições pré-configuradas, no entanto, devido à incapacidade de a memória reter a totalidade das posições para cada referência, é necessário ajustar a sua configuração no início de cada lote de produção para que as lâminas sejam movimentadas corretamente.</p>	

O *layout* completo bidimensional do setor de Enrolamento Mestra (310), encontra-se representado na Figura 5-2, com o objetivo de proporcionar a compreensão da sequência de tarefas e do fluxo do material.

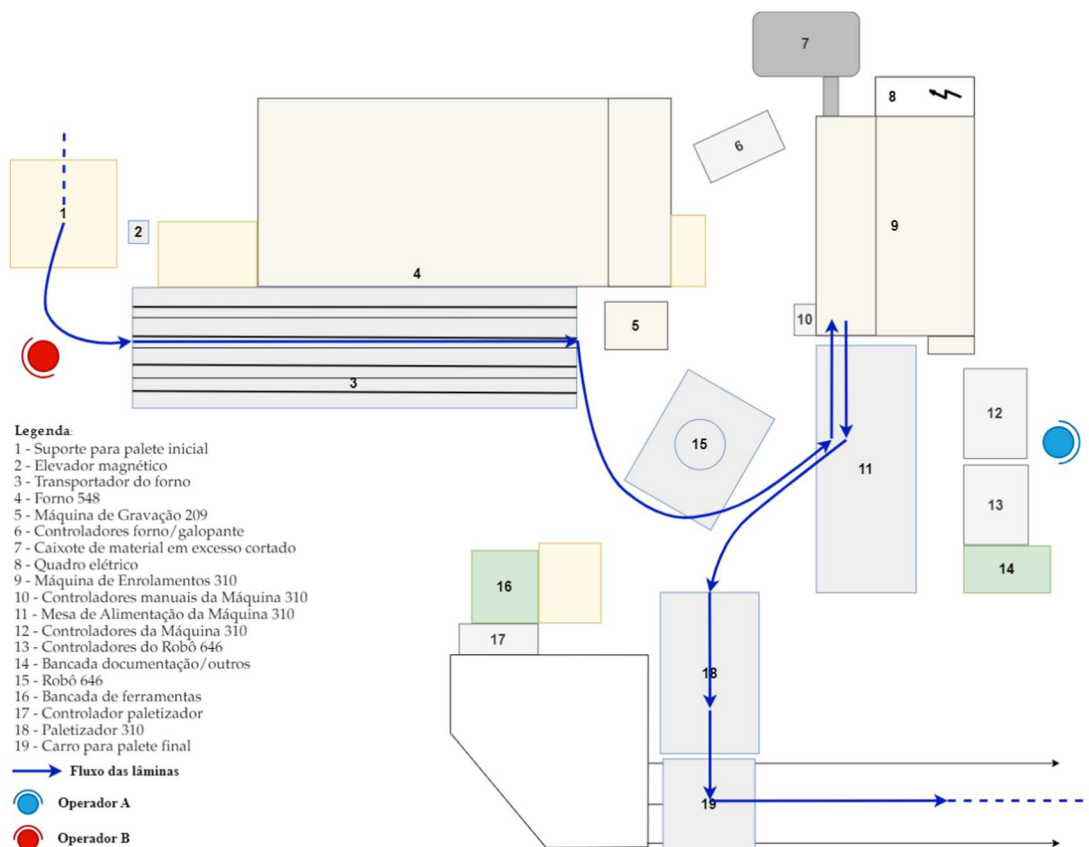


Figura 5-2 – *Layout* completo bidimensional do setor de Enrolamento Mestre (310)

Embora não sejam parte integrante do *layout* da célula de trabalho, é importante frisar outros equipamentos que possuem uma utilização recorrente. Em certos tipos de molas é necessário instalar a Máquina 236 na zona posterior ao Paletizador, para o olhal sofrer um enrolamento completo. Quando se verificam problemas no enrolamento, alguns são solucionados instantaneamente pelos operadores através de retrabalho. As lâminas cujos olhais são retrabalhados são encaminhadas para outros equipamentos (máquinas e fornos), nomeadamente a Máquina 305, 300 e/ou a Máquina 302.

No setor de Enrolamento Mestre (310), desempenham funções dois operadores permanentes, que alternam o horário de almoço para assegurar que não existem interrupções na produção. Em períodos em que um dos operados se encontra na pausa de almoço ou de procura reduzida, com conseqüente quebra na produção, é comum a assistência de um operador de outra área com menor carga de trabalho. Este operador é responsável pela alimentação do Forno 548, através da colocação das lâminas no Transportador. Esta polivalência é importante para potencializar a produtividade do setor. Os operadores realizam rotatividade de tarefas, contudo, devido à maior experiência de um deles, atividades de maior complexidade técnica são habitualmente desempenhadas pelo

operador mais experiente. No entanto, ambos podem executar todas as operações. Para além dos dois operadores, um terceiro operador possui capacidades de realizar todas as tarefas necessárias neste setor.

A produção é realizada de forma descontínua, maioritariamente caracterizada por pequenos lotes (volume de produção baixo). Após a conclusão da operação da referência em curso, realizam-se as alterações necessárias (troca de referências em produção), com a finalidade de adaptar os equipamentos ao novo produto. Para garantir um nível produtivo constante, é fundamental que as alterações sejam efetuadas de forma rápida e eficiente. É sempre necessário realizar a calibragem do Robô 646 e ajustar a configuração da Mesa de Alimentação/Máquina 310 ao mudar para o enrolamento no lado contrário ou ao trabalhar com uma nova referência de fabrico. No caso de uma nova referência ou lados diferentes, é necessário efetuar alterações na Máquina 310 e nas configurações de enrolamento. As ferramentas utilizadas no processo produtivo, de forma a obter um novo diâmetro de olhal, posição em relação ao centro e abertura do olhal pretendida, têm também de ser alteradas, em função da espessura, comprimento e largura da lâmina de aço.

5.2.2 Recolha de dados

A análise preliminar e o VSM permitiram identificar diversos problemas no setor, verificando-se um tempo de *setup* excessivo, desorganização do espaço e diversas dificuldades na execução das tarefas decorrentes do *layout* pouco funcional. Para uma análise pormenorizada do setor, recorreu-se com frequência ao *Genchi Genbutsu*, onde foram acompanhadas todas as tarefas desempenhadas pelos operadores através de observação direta. Desta forma, foi possível compreender as principais dificuldades que afetam o normal desempenho das funções dos operadores no decorrer das tarefas que efetuam diariamente. Para uma melhor compreensão dos processos, foi crucial compilar imagens e vídeos das tarefas, bem como entrevistar informalmente os operadores e o encarregado de produção responsável pelo setor.

Nos momentos em que a produção se encontrava parada e os operadores em espera, efetuaram-se algumas sessões informais de *Brainstorming*, com o intuito de compreender melhor certas dificuldades constatadas e/ou descritas. Analisou-se também a documentação relativa ao posto de trabalho que se encontrava disponível, nomeadamente: registos de problemas, controlos de qualidade, manuais dos equipamentos, entre outros. Além disso, aplicou-se um breve questionário (Apêndice B) aos dois operadores atualmente alocados ao

setor de trabalho e ao operador que também desempenha funções quando necessário. Com base nos diferentes problemas identificados, construiu-se uma tabela (Apêndice C), onde se encontra descrita a operação/área onde o problema ocorre, o problema, a sua descrição e causas principais, as consequências resultantes e, quando aplicável, fotografias e/ou representações do problema. No total, foram identificados 44 problemas que se verificam no setor de trabalho e que influenciam negativamente a produtividade.

5.3 Etapa 3: Identificação dos problemas principais

Os problemas identificados foram então divididos de acordo com a categoria (6 M's), em que se enquadravam. Havendo situações em que o problema era suscetível de pertencer a mais do que uma categoria, procurou-se encontrar aquela de maior representatividade. Após esta divisão, os problemas foram inseridos na Casa da Qualidade adaptada para serem avaliados. Para além dos 8 desperdícios, acrescentaram-se nos *hows* os parâmetros de Ergonomia e Segurança. Um número considerável de problemas têm um impacto relevante nestes parâmetros, e tanto a Ergonomia como a Segurança são particularmente importantes para a empresa. Ainda que estes dois fatores tenham sido incluídos, serão apenas alvo de análise para a priorização dos problemas, não sendo considerados para a classificação que será efetuada dos *hows*. Nesta classificação apenas serão incluídos os desperdícios. Tal deve-se a não ser apropriado efetuar-se uma avaliação comparativa entre os desperdícios mais afetados pelos problemas identificados, conjuntamente com os fatores de Ergonomia e Segurança. Estas duas áreas científicas exigem a adoção de métodos específicos para a sua avaliação. Convém ainda sublinhar que nenhuma conclusão deve ser inferida além do que a análise suporta, pelo que a abordagem considerada não corresponde a um método rigoroso e formal de avaliação das condições de Segurança e Ergonomia. A aplicação do modelo pretende minimizar os desperdícios, através da resolução de problemas prioritários, podendo esta avaliação ser estendida ao impacto dos problemas na Ergonomia e Segurança.

Com base nas informações recolhidas e em colaboração com a responsável de Planeamento e Gestão da Produção e o Diretor Fabril, foi realizada a tarefa de classificação dos diversos problemas. Cada decisor avaliou a importância do problema através da escala de Likert e o valor obtido representa a média. Foi também avaliada a relação de cada problema com os 8 *Muda*, Ergonomia e Segurança, e a correlação existente entre estes últimos. Com recurso às equações 4.1 e 4.2, obteve-se o valor total para a pontuação dos problemas e dos desperdícios, completando-se a Casa da Qualidade presente na Figura 5-3.

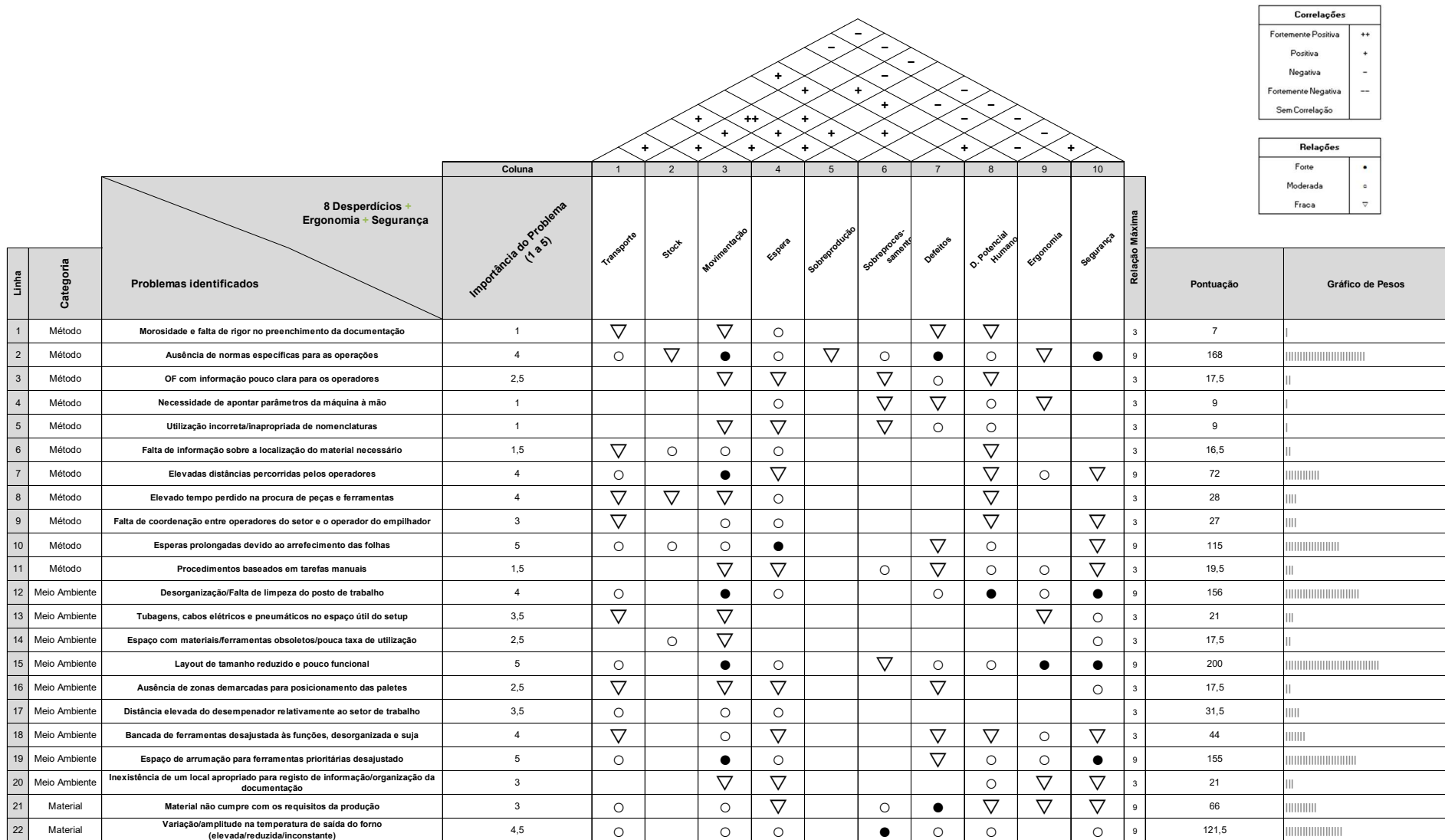


Figura 5-3 – Casa da Qualidade adaptada com os diversos problemas identificados

Através da análise da classificação dos desperdícios, obtêm-se os que têm maior peso e deve ser procurada a sua minimização. Estes são a movimentação, espera, desperdício de potencial humano e defeitos, com percentagens de 26,38%, 21,19%, 16,44% e 14,15%, respetivamente. Verifica-se também que o *stock* (3,50%) e sobreprodução (0,49%) são os que têm menor peso, o que seria expectável pela empresa em estudo aplicar um sistema de produção *pull* (Tabela 5-4). Esta classificação permite ter uma visão global dos desperdícios mais impactados pelos problemas.

Tabela 5-4 – Importância de cada um dos desperdícios

	Transporte	Stock	Movimentação	Espera	Sobreprodução	Sobreprocessamento	Defeitos	Desperdício de Potencial Humano
Peso relativo	12,18%	3,62%	25,37%	19,26%	0,48%	7,39%	15,32%	16,38%
Gráfico dos pesos	==	—	====	====		==	====	====

Com base na classificação dos problemas, através do Princípio de Pareto, foi possível obter-se os problemas principais (Figura 5-4). Os 10 principais problemas representam 22,73% dos atributos. Estes correspondem a 62,45% da pontuação total sendo, portanto, os definidos como prioritários e que serão alvo de análise.

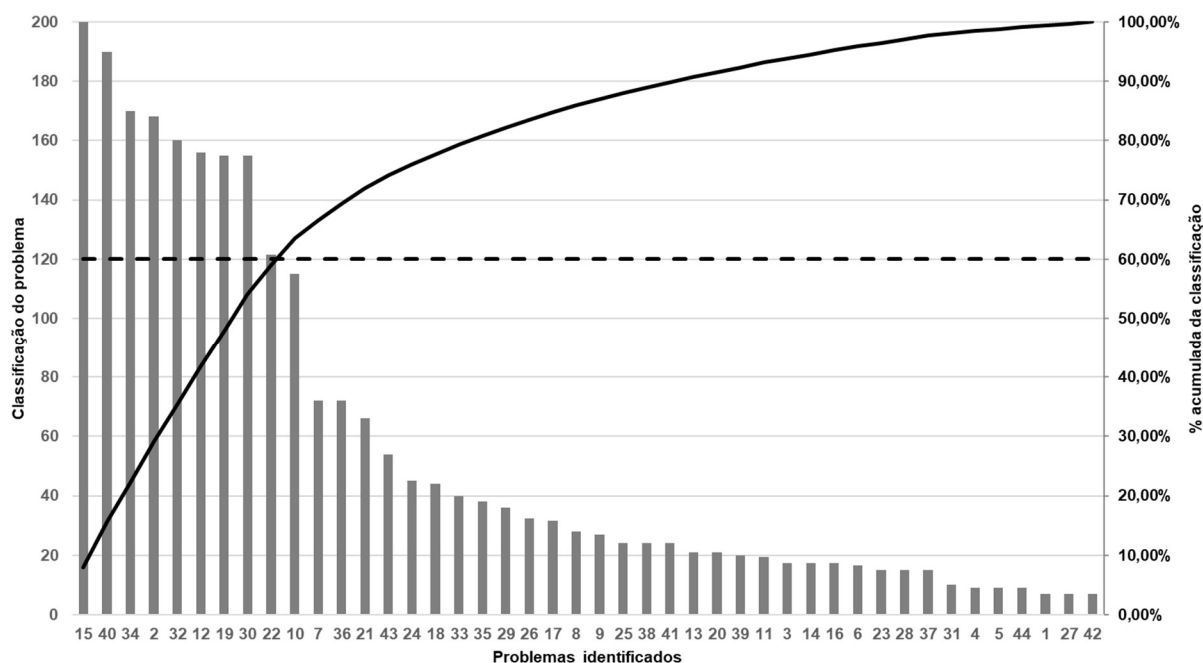


Figura 5-4 – Diagrama de Pareto dos problemas

5.4 Etapa 4: Análise das causas-raiz

Os 10 problemas definidos como prioritários foram então alvo de estudo até à causa-raiz, através da aplicação da ferramenta 5 *Whys*. Esta análise teve em conta os dados recolhidos e algumas sessões informais de *Brainstorming* com as entidades envolvidas no setor, permitindo identificar as causas-raiz, numa lógica causa-efeito. Decorrente das causas-raiz identificadas, foi possível chegar-se à seguinte tabela-resumo (Tabela 5-5).

Tabela 5-5 – Análise 5 *Whys*

<i>Why1</i>	<i>Why2</i>	<i>Why3</i>	<i>Why4</i>	<i>Why5</i>	Causa-raiz
<i>Layout</i> de tamanho reduzido e pouco funcional	Inserção de consecutivos novos equipamentos	Introdução de novas funcionalidades produtivas	Equipamentos existentes não correspondiam às necessidades da produção	Melhorar o desempenho e a eficiência dos processos produtivos	Projeto de design do <i>layout</i> ineficiente
Tempo para troca de ferramenta (<i>setup</i>) elevado	Tempo excessivo na troca e ajuste das ferramentas	Falta de padronização e formação insuficiente	-----	-----	Inexistência de procedimentos e uma análise detalhada do processo de <i>setup</i>
Necessidade constante de realizar ajustes na mesa de alimentação	Mesa de alimentação não está adequadamente configurada para a produção	Inexistência de um estudo detalhado sobre as necessidades específicas da produção	Desconsideração da importância de uma rápida configuração da mesa de alimentação	-----	Falta de consciência sobre a importância de uma configuração adequada e rápida da mesa de alimentação
	Problemas nos elementos constituintes do equipamento	Desgaste e mau funcionamento dos equipamentos	Falta de manutenção preventiva	-----	Desconsideração e falta de manutenção preventiva adequada da mesa de alimentação
Ausência de normas específicas para as operações	Falta de planeamento e desenvolvimento de procedimentos padronizados	Inexistência de um processo formal para o desenvolvimento e atualização de procedimentos	Falta de promoção de procedimentos padronização	-----	Inexistência de procedimentos padronizados adequados
Transportador com movimentação ineficaz	Desgaste e mau funcionamento do equipamento	Transportador não possui um plano de manutenção preventiva estabelecido	-----	-----	Desconsideração e falta de manutenção preventiva adequada do transportador
Desorganização/Falta de limpeza do posto de trabalho	Falta de normas para garantir a manutenção limpeza/organização no ambiente de trabalho	Falta de consciencialização sobre os benefícios da limpeza e organização do local de trabalho	Falta de formação e compreensão sobre a importância da limpeza e organização para a eficiência	-----	Desconsideração pela limpeza e organização do local de trabalho
Espaço de arrumação para ferramentas essenciais desajustado	Espaço disponível reduzido e inadequado	Falta de planeamento na definição do espaço de arrumação	Não foi definido um local específico para a arrumação das ferramentas prioritárias	-----	Inexistência de uma avaliação das necessidades de ferramentas para troca de <i>setup</i> e de um espaço apropriado
Equipamentos degradados e em constante reparação	Manutenção preventiva ineficiente	Desconsideração pela manutenção preventiva	Falta de consciência e benefícios da manutenção preventiva	-----	Desconsideração e falta de manutenção preventiva adequada
Variação/amplitude na temperatura de saída do forno	Impossibilidade de ajustar corretamente a temperatura do forno	Forno em más condições de funcionamento	Falhas em componentes, desgaste e constante descalibração do forno	-----	Desconsideração e falta de manutenção preventiva adequada
Esperas prolongadas devido ao arrefecimento das lâminas	O arrefecimento com o auxílio de ventiladores é moroso, dissipando lentamente o calor	Falta de investimento em tecnologia para um processo de arrefecimento mais eficiente	-----	-----	Limitações nos recursos disponíveis e tecnologia que tornem o processo de arrefecimento mais eficiente
	Necessidade de esperar pelo arrefecimento para calibração do robô	Calibração não pode ocorrer com a temperatura elevada das lâminas	As temperaturas elevadas impedem o manuseio das lâminas	-----	Métodos alternativos para eliminar ou reduzir o tempo de espera de arrefecimento não foram investigados

5.5 Etapa 5: Implementação do *Lean*

Após identificação dos principais problemas e das respectivas causas-raiz, são escolhidas ferramentas *Lean* adequadas relativas a cada um (Tabela 5-6), permitindo diminuir o impacto dos desperdícios no setor. Derivado da incerteza relativamente às ferramentas *Lean* que serão implementadas e o seu impacto no setor não ter sido avaliado, o VSM do Estado Futuro não foi construído. Não obstante, no Apêndice D encontra-se representado o VSM do estado atual assinalado com *kaizen bursts*. As ferramentas *Lean* foram sugeridas com base na literatura consultada, tendo em consideração os interesses dos principais responsáveis pela tomada de decisão.

Tabela 5-6 – Ferramentas *Lean* sugeridas

Causa-raiz	Ferramenta(s) <i>Lean</i> proposta(s)	Objetivo
Projeto de <i>design</i> do <i>layout</i> ineficiente	Redesign do layout	Melhorar a disposição dos equipamentos e o fluxo de trabalho
Inexistência de procedimentos e uma análise detalhada do processo de setup	SMED Standardized Work 5S	Redução dos tempos de setup através de uma análise minuciosa do processo e criação de procedimentos padronizados
Falta de consciência sobre a importância de uma configuração adequada e rápida da mesa de alimentação	Eventos Kaizen	Identificação e implementação de soluções que permitam tornar o processo de configuração adequada da mesa de alimentação mais eficiente e menos trabalhoso
Desconsideração e falta de manutenção preventiva adequada (de diversos equipamentos)	TPM Gestão Visual	Aumentar a disponibilidade dos equipamentos e reduzir o número de paragens não programadas
Inexistência de uma avaliação das necessidades de ferramentas para troca de setup e de um espaço apropriado	5S	Organização apropriada (de fácil acesso e intuitiva) das ferramentas necessárias para o setup
Inexistência de procedimentos padronizados	Standardized Work Gestão Visual	Garantir que o trabalho é realizado consistentemente com todos os procedimentos especificados e com a mesma qualidade
Desconsideração pela limpeza e organização do local de trabalho	5S Gestão Visual	Promover a consciencialização e o comprometimento dos operadores com a limpeza e organização do local de trabalho
Limitações nos recursos disponíveis para investimento em tecnologia que tornem o processo de arrefecimento mais eficiente	Eventos Kaizen	Incentivar à inovação e criatividade dos colaboradores para superar as limitações nos recursos disponíveis para melhoria do processo de arrefecimento
Métodos alternativos para eliminar ou reduzir o tempo de espera de arrefecimento não foram investigados	SMED	Investigar e analisar detalhadamente métodos alternativos para eliminar o tempo de espera de arrefecimento

5.5.1 *Redesign do layout*

Durante o período em análise foram encontrados diversos problemas no *layout* do setor de trabalho que afetam o processo de produção. Inclusivamente, no questionário atribuído aos operadores, estes identificaram fatores relacionados com o *layout* como os que mais influenciam negativamente o desempenho das suas funções. Entre as dificuldades apontadas, salienta-se o acesso à Máquina 310 para a troca de *setup*, e condições adversas relacionadas com as temperaturas elevadas agravadas pelo espaço reduzido.

O objetivo do *redesign do layout* é poder melhorar a disposição dos equipamentos e o fluxo de trabalho, permitindo obter-se um espaço de trabalho operacional. Desta forma, é possível solucionar o problema que obteve a maior classificação – “*Layout* de tamanho reduzido e pouco funcional”. No *redesign do layout* utilizou-se a simulação para analisar a viabilidade de uma proposta. Para a aplicação do *software* de simulação utilizado, é necessário esquematizar o sistema a modelar. O esquema permite um melhor entendimento de todas as entidades a modelar como, por exemplo, o Robô 646 e a Máquina 310. A Figura 5-2 é a representação desse esquema com as setas a indicar o fluxo de material. Apesar do esboço não corresponder inteiramente à realidade, permite modelar os tempos e o espaço de produção, sendo suficiente para a compreensão do problema existente. No processo de *redesign do layout* foi concebida uma solução realista que se aproxime do concebível na empresa, sem exigir investimentos elevados. Para verificar a viabilidade da proposta a implementar e compará-la com o estado atual do *layout*, foi efetuada a simulação de ambos através do *software Tecnomatix Plant Simulation* [73], tendo em vista a análise da distância percorrida pelos operadores e a quantidade produzida. Para o desenvolvimento da simulação dos dois modelos foram considerados alguns pressupostos, nomeadamente:

[A] O tempo de preparação, carga/descarga e processamento corresponde à média do respetivo processo.

[B] O modelo de simulação foi executado considerando o período de funcionamento da empresa, nomeadamente, durante um turno de 8 horas, das 7:30h às 16:00h, ainda que na realidade estes tempos não se verifiquem, devido a atrasos no arranque da produção e outros tempos de paragem não programados.

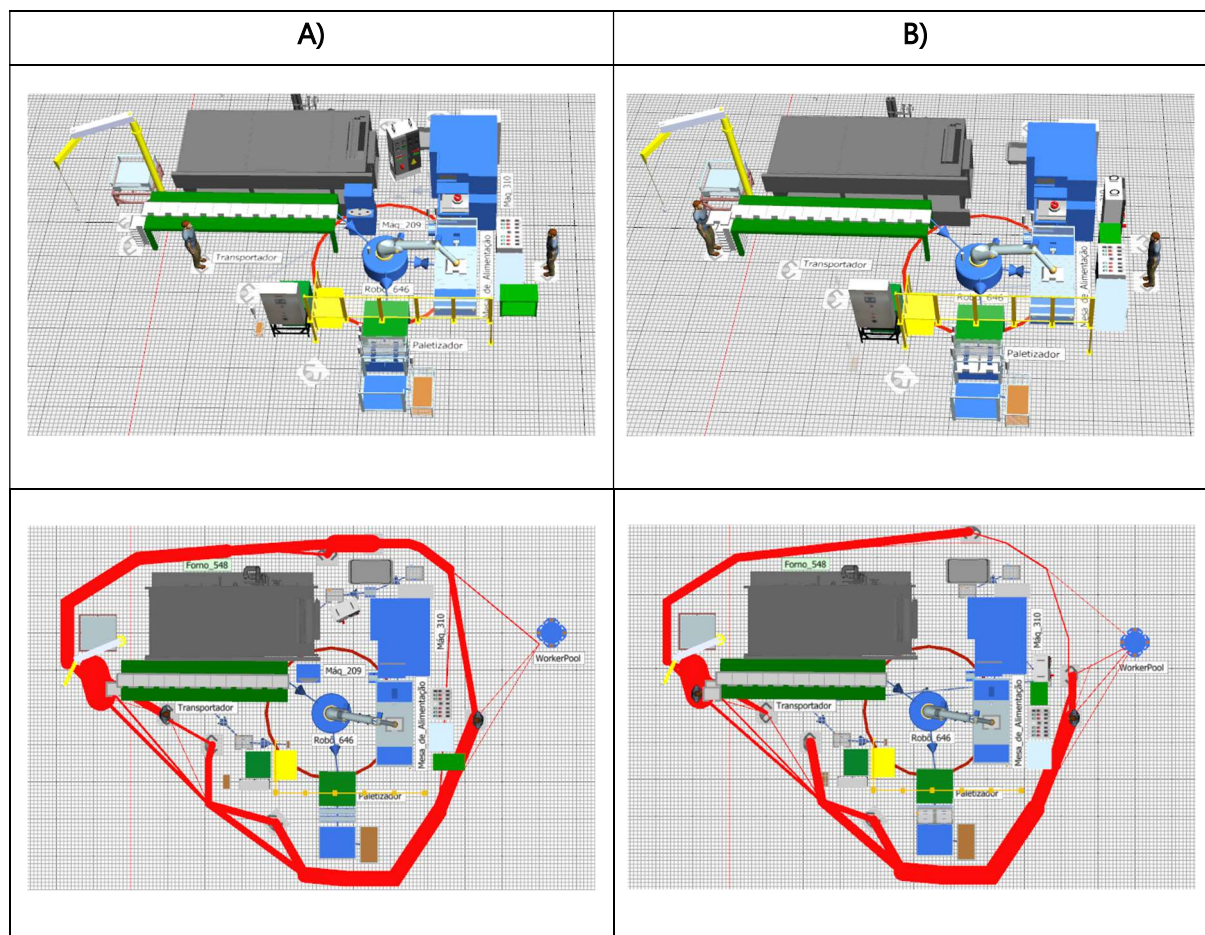
[C] Várias situações não foram contempladas de todas as atividades regularmente executadas. O *setup*, embora tenha sido considerado enquanto tempo de paragem nos equipamentos, não o foi para a ocupação e distância percorrida pelos operadores. Tal deve-se à variabilidade destas operações e à dificuldade em modelar uma situação tão complexa

no *software* [73]. Também não se consideraram tempos médios e respectivas distribuições de probabilidade para o funcionamento e a paragem de cada equipamento.

[D] Para a alternativa do *layout* foram consideradas as restrições de não existirem mudanças na tecnologia de produção, serem mantidos os equipamentos existentes e não ser possível modificar a posição dos equipamentos de maior dimensão.

Para o cálculo das distâncias percorridas pelos operadores no *software* foram assumidas posições de trabalho "*Workplaces*", que correspondem àquelas normalmente ocupadas no setor de trabalho. Através da seleção do modo "*Travel mode – Move freely within area*", os operadores percorrem a menor distância entre as diferentes posições de trabalho, considerando os obstáculos existentes no setor, o que corresponde à situação mais próxima da real. Foram modelados os dois operadores que desempenham funções específicas, adicionadas ao parâmetro "*Additional Services*" da "*Creation Table*". Através do objeto "*SankeyDiagram*", definido para os operadores, é possível analisar as suas movimentações, em semelhança ao Diagrama de Esparguete. O *software* também possui uma ferramenta que analisa o *layout* e propõe melhorias, o *LayoutOptimizer*, contudo, na versão gratuita este não se encontra disponível. Para a variante proposta, o controlador do forno foi movido para junto dos restantes. Esta solução permite reduzir o número de deslocações do operador afeto a estas funções. Outro aspeto positivo é a criação de um espaço mais acessível de trabalho através da remoção da Máquina 209 e outros equipamentos obsoletos, permitindo a execução das atividades com menor dificuldade. A Tabela 5-7 contém os dois *layouts* simulados (atual/proposta).

Tabela 5-7 – Modelos simulados: A) *Layout* atual B) *Layout* proposto



Na Tabela 5-8 encontram-se resumidos os resultados obtidos, incluindo o número produzido de produtos por turno e a distância percorrida por turno.

Tabela 5-8 – Parâmetros obtidos considerando os 2 modelos

Parâmetro	<i>Layout</i> Original	<i>Layout</i> Proposto
Distância média percorrida em metros (turno 8 horas)	1971	1758
Quantidade produzida (turno 8 horas)	136	140

Verifica-se que a proposta de *redesign* do *layout* é vantajosa, evidenciada no que concerne à redução da distância percorrida e aumento da quantidade produzida para o mesmo intervalo de tempo. Importa, no entanto, referir que as restrições assumidas para a proposta limitaram os resultados alcançados, nomeadamente a localização dos equipamentos, a área de trabalho disponível e a tecnologia de produção. Se, por exemplo,

um dos elementos referidos pudesse ser alterado, a mudança de *layout* seria mais eficiente sob o ponto de vista da distância percorrida e quantidade produzida. Por outro lado, sem intervir na tecnologia de produção e no grau de automatização, uma simples alteração do *layout* permite, em simultâneo, diminuir a distância percorrida e aumentar quantidade produzida.

5.5.2 SMED

A adoção da metodologia SMED pretende agilizar o processo de mudança de ferramenta, para que este ocorra no menor tempo possível. Com o SMED, pretende-se solucionar as causas-raiz: “Inexistência de procedimentos e uma análise detalhada do processo de *setup*” e “Métodos alternativos para eliminar ou reduzir o tempo de espera de arrefecimento não foram investigados”. Importa salientar que a repartição das tarefas entre os dois operadores não seguia um padrão estabelecido à data do início do projeto. Paralelamente, com a implementação do SMED, houve um compromisso para estabelecer um padrão de atribuição de tarefas, evidenciando a necessidade da aplicação conjunta da ferramenta *Standardized Work*. A colaboração do Departamento de Manutenção, encarregue pela manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos, e simultaneamente do responsável pela ferramentaria, que gere e fornece o suporte técnico às ferramentas e acessórios, é fundamental para o sucesso do SMED no setor.

5.5.2.1 Estágio 0

A primeira fase de aplicação da ferramenta SMED inicia-se com o estágio 0, na qual se efetua um levantamento e análise das operações de *setup*, num setor em que nunca tinha sido feito este estudo.

A ELO–Automotive trabalha com uma elevada diversidade de referências, o que, no caso do setor de Enrolamentos Mestra (310), implica que existam diversas possibilidades relativamente ao conjunto de ferramentas a serem utilizadas. Diferentes referências de entrada e saída implicam a utilização de ferramentas distintas, bem como alterações nos parâmetros de configuração dos equipamentos. Num levantamento efetuado pela organização, entre Janeiro de 2021 a Abril de 2023 foram registadas a existência de 776 referências diferentes, havendo ainda outras não contempladas em arquivo. Importa também salientar a constante adição de novas referências. Através desta análise foi possível avaliar a frequência da produção, apresentada na Tabela 5-9. Esta análise tem por base os enrolamentos para as 3 famílias de produtos: convencional, parabólico e pneumático.

Tabela 5-9 – Ocorrências das diferentes referências

Ocorrência	Número de Referências
Nenhuma	312
Em apenas 1 ano	216
Em 2 anos	147
Nos 3 anos	101

A partir da análise dos dados existentes, verificou-se também que 18,92% dos cavilhões (ferramenta responsável pelo enrolamento), são responsáveis por 84,29% da produção total, com destaque para o de 55 mm, ao qual corresponde 30,00%. No Anexo A pode ser encontrada informação relativa à taxa de utilização dos diferentes cavilhões no período em análise.

Diferentes referências podem contemplar a utilização das mesmas ferramentas, havendo diversas alterações nos processos aos quais as lâminas são submetidas, por exemplo, no processo de furação ou moldagem. Com base no registo de dados existente, procedeu-se à análise da repetição de diferentes referências que utilizam as mesmas ferramentas, em função da produção total. Através deste registo, foi possível verificar que um caso específico de uma montagem (porta-grampo 3, grampo 100, cavilhão 55, bloco de suporte 50/60 e placa de pressão - rolo), representa 19,05% da produção. Embora esta análise tenha revelado uma maior utilização conjunta de certos tipos de ferramentas, para o normal funcionamento da produção, que ocorre num sistema *pull* e em pequenos lotes, é necessária a constante alteração das ferramentas a utilizar. Para a maioria dos *setups* é preciso alterar pelo menos uma das ferramentas da Máquina 310, para além das alterações das configurações envolvidas neste equipamento, na Mesa de Alimentação e no Robô 646. É importante ter em conta que a organização pretende manter a frequência de *setups*, no entanto, a redução da sua duração é um objetivo.

Realizou-se uma análise relativa aos tempos despendidos com cada tipo de operação, através do registo presente no Controlo da Produção dos meses de Janeiro a Maio. Cada vez que se inicia e termina a produção, o operador regista o horário, sendo também anotados, tempos relativos a avarias, falta de matéria-prima e realização do TPM. Alterações no processo ou primeiras produções que exijam a presença do Departamento Técnico e/ou de Qualidade são igualmente descritas. Esta análise permitiu determinar os tempos e a percentagem de tempo disponível ocupado em cada tipo de atividade (Tabela 5-10). Verifica-se que 44,18% do tempo disponível é ocupado em operações de *setup* e de

aquecimento das lâminas, evidenciando a necessidade de redução da duração dessas atividades.

Tabela 5-10 – Tempos totais despendidos em cada operação durante os 5 meses analisados

	Total (horas)	Porcentagem ocupada (%)
Tempo Setup Completo (com aquecimento das lâminas no forno)	222,03	26,08
Tempo Setup (sem aquecimento das lâminas no forno)	15,03	1,77
Tempo Aquecimento/Outros	32,47	3,81
Tempo Arrefecimento + Setup + Aquecimento	106,60	12,52
Tempo Produção	347,37	40,79
Tempo Primeira Produção	17,90	2,10
Tempo TPM	23,75	2,79
Tempo Paragens Não Programadas/Manutenção Corretiva	65,32	7,67
Tempo Paragens Programadas (Almoço, Manutenção Preventiva e Formação)	21,03	2,47

Com base nesta análise, determinou-se o número médio mensal de *setups* diários no setor (Tabela 5-11), comprovando-se a elevada quantidade diária desta operação.

Tabela 5-11 – Frequências e número médio de *setups* durante os 5 meses analisados

Operação	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior
Setup Completo (com aquecimento das lâminas no forno)	62	47	59	57	61
Arrefecimento + Setup + Aquecimento	20	17	32	23	20
Setup (sem aquecimento das lâminas no forno)	5	7	4	5	5
Total	87	71	95	85	86
Dias úteis	22	18	23	17	22
Número médio de setups por dia	3,95	3,94	4,13	5,00	3,91

No âmbito da aplicação do SMED, é relevante realçar que a unidade fabril, à data do estudo, atravessa um período de quebra produtiva, em que a quantidade a produzir é inferior aos valores médios expectáveis. Existem, portanto, paragens, tempos de espera e maior margem de folga na execução do trabalho, situações que num contexto habitual não ocorreriam.

Para clarificar todas as atividades inerentes ao processo de troca de *setup* no setor de trabalho, efetuaram-se gravações de vídeo, com o intuito de explicitar devidamente cada tarefa executada, a sua duração e estabelecer a sequência de execução. Para a análise detalhada do processo de mudança de *setup*, analisou-se a situação em que se efetua a troca completa das cinco principais ferramentas de enrolamento (porta-grampo, grampo, cavilhão, bloco de suporte e placa de pressão). Os resultados obtidos com esta análise são abrangentes e adaptáveis a todas as outras situações, por exemplo, na situação em que apenas se troca o cavilhão.

Efetuiu-se a cronometragem e divisão das operações detalhadas, em seis ciclos, com o objetivo de obter um tempo representativo (valor médio) para cada uma das tarefas similares realizadas por cada um dos operadores. Registos existentes na empresa foram também analisados, bem como os dados recolhidos aquando da observação efetuada para validação dos valores obtidos. Posteriormente, os valores recolhidos foram apresentados aos operadores e à responsável pela Gestão e Planeamento da Produção, para validação dos tempos e identificação de possíveis situações anormais.

Após análise dos resultados obtidos, concluiu-se que a variação existente entre os diferentes registos, no que se refere aos procedimentos e tarefas, é elevada. Verifica-se que a sequência das referências de entrada e de saída possui impacto nos resultados, não sendo possível obter-se um valor médio representativo. Embora as diversas ferramentas tenham características similares e os processos mudança de ferramenta sejam sensivelmente semelhantes, a falta de padronização do trabalho e de responsabilidades para cada um dos operadores traduz-se em processos bastante variáveis. Os frequentes problemas verificados e avarias nos equipamentos são também outro aspeto a realçar.

Considerando estes fatores e tendo em conta o período limitado de análise, para aplicação da ferramenta SMED, efetuou-se o registo detalhado de um *setup* representativo de uma situação padrão. Esta observação representa um "*Setup* Completo", onde se efetua a troca das 5 principais ferramentas do equipamento. Durante esta observação, não se verificaram paragens não programadas, e os operadores efetuaram as suas tarefas à velocidade normal, sem esforço excessivo. Esta troca de *setup* refere-se à passagem da mola 313134900 para a mola 311301800, da OF 2202035, encontrando-se presente no Apêndice E, permitindo uma análise detalhada do processo e identificação de oportunidades de melhoria.

Neste estágio inicial, do ponto de vista da metodologia SMED, não existe separação entre trabalho interno e externo, sendo apenas realizada a divisão entre os dois tipos. Se o

trabalho pode ser realizado com a máquina em funcionamento, é considerado como externo, assinalado na listagem com "E". Caso a máquina necessite estar parada, é visto como trabalho interno, indicado com "I", e os tempos de espera são indicados com "N/A", que significa "Não Aplicável". Para além desta divisão, realizou-se também outra análise em que se agruparam atividades de produção nas seguintes categorias:

- Espera: períodos de espera/inatividade;
- Buscar e arrumar ferramentas: tarefas relacionadas com a procura, manuseamento e arrumação de ferramentas utilizadas;
- Deslocações/transporte de ferramentas: relativas às movimentações que os operadores realizam e com o transporte de ferramentas;
- Montagem/desmontagem de ferramentas: conjunto de atividades que engloba operações diretamente relacionadas com a mudança de ferramentas nos equipamentos;
- Programação robô/máquina 310: alteração das configurações dos equipamentos para os valores referentes à OF atual;
- Utilização de equipamentos de proteção individual (EPI): colocar/retirar luvas e outros EPIs;
- Leitura OF/organização documentação: atividades relacionadas com a organização da documentação técnica, OF, outros;
- Outras atividades produtivas: ligar/desligar equipamentos, limpeza e verificação de condições de funcionamento.

Com base nos dados obtidos, foram geradas a Figura 5-5 e Figura 5-6, onde se pode observar a distribuição em percentagem de tempo para cada tipo de categoria definida.

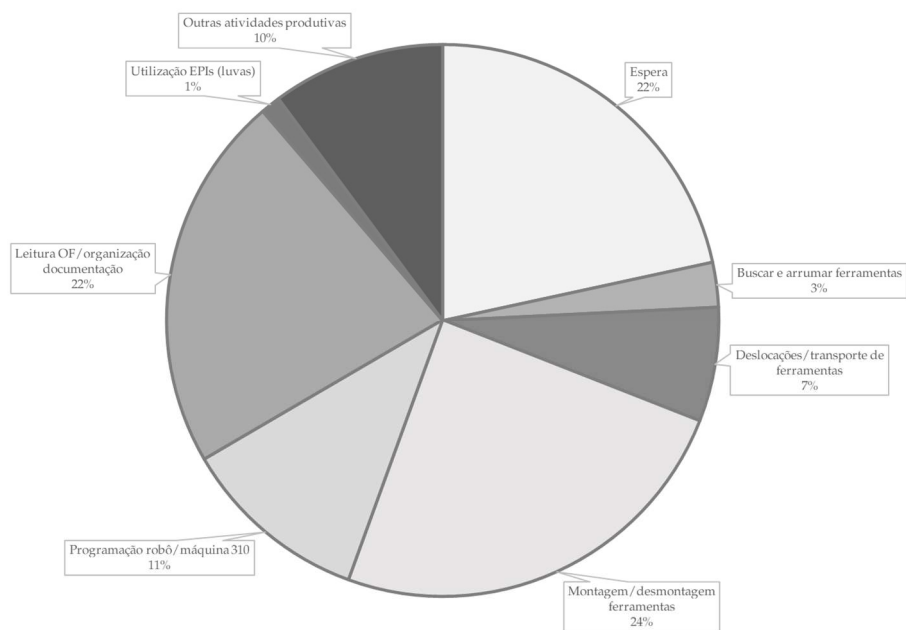


Figura 5-5 – Distribuição dos tempos despendidos pelo Operador A no processo de *setup*

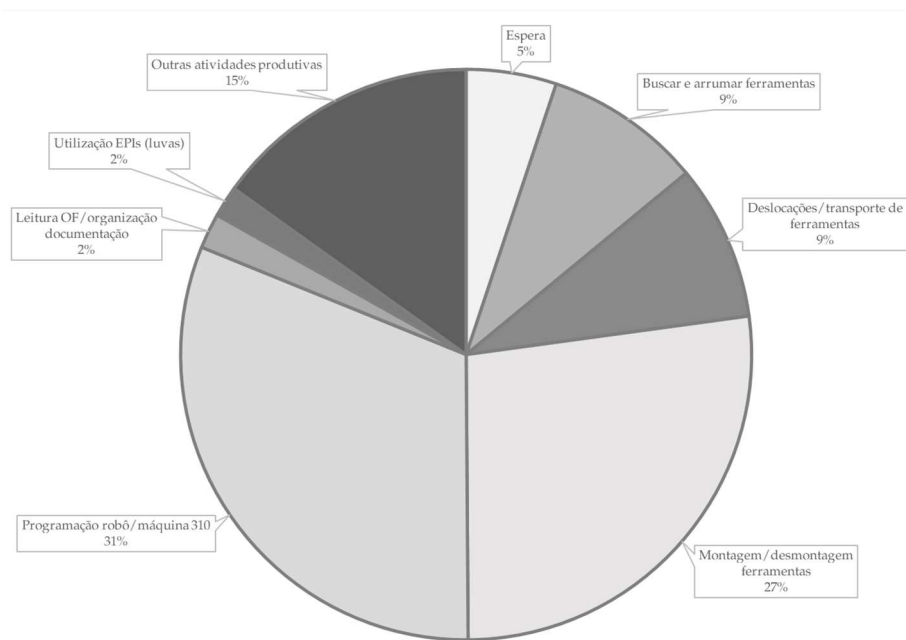


Figura 5-6 – Distribuição dos tempos despendidos pelo Operador B no processo de *setup*

Através da listagem efetuada e das figuras obtidas, é possível tirar diversas ilações. Durante o *setup*, verifica-se a execução de tarefas externas morosas. Destacam-se movimentações, o transporte de ferramentas desde a ferramentaria até à bancada de ferramentas, retirar as pontas de corte (material em excesso cortado), a substituição do padrão e o ajuste da dimensão da escala de centros. Estas atividades ocorrem frequentemente ao longo do processo e é igualmente evidente a existência de diversos

tempos de espera durante o *setup*. Algumas destas paragens ocorrem por estarem a ser efetuados processos que exigem a operação da máquina em modo manual e, por razões de segurança, é necessário aguardar a sua conclusão. Outro fator que contribui para os tempos de espera é a ausência de uma sequência estabelecida de tarefas, resultando em uma dessincronização evidente entre as atividades que exigem a presença simultânea de ambos os operadores, não havendo um padrão consistente. No caso do Operador A, verifica-se que as tarefas de leitura das OF e organização documentação ocupam uma parte significativa do tempo de *setup*. O tempo total de *setup* da Máquina 310 para a situação analisada é, em média, de 45 minutos, sendo nesta observação registada uma duração de aproximadamente 41 minutos.

5.5.2.2 Estágio 1

O Estágio 1 é a evolução do Estágio 0, na qual todas as tarefas externas são retiradas. Nesta fase, apenas as operações internas, estritamente executadas com a máquina parada, são mantidas no *setup*. As tarefas externas são integradas nas fases de *pré-setup* e *pós-setup*. Na primeira fase, incluem-se todas as atividades de alcance e transporte de ferramentas. Na segunda, inserem-se as atividades de transporte e arrumação das ferramentas e ajuste de equipamentos de medição. As atividades de *pré-setup* são repartidas por ambos os operadores, enquanto as tarefas referentes ao *pós-setup* relacionadas com a montagem/desmontagem e transporte de ferramentas são efetuadas pelo Operador B. Esta separação permite que o Operador A organize a documentação, preenchendo o Controlo de Produção e fichas técnicas com os parâmetros utilizados. Com a proposta enunciada verifica-se uma redução do tempo de *setup*, demonstrada na Tabela 5-12, através da passagem de tarefas anteriormente realizadas apenas quando o equipamento se encontrava parado.

Tabela 5-12 – Evolução de tempos de *setup* entre o estágio 0 e o estágio 1

		Operador A	Operador B
Estágio 0	Pré- <i>setup</i> (seg.)	90	-
	<i>Setup</i> (seg.)	2407	2211
	Pós- <i>setup</i> (seg.)	-	-
Estágio 1	Pré- <i>setup</i> (seg.)	165	108
	<i>Setup</i> (seg.)	1727	1833
	Pós- <i>setup</i> (seg.)	515	270
Redução do tempo de <i>setup</i>		28,25%	17,10%

Na Tabela 5-13, encontra-se a listagem para a observação analisada, onde é efetuada a distinção e distribuição proposta das operações externas e internas.

Tabela 5-13 – Listagem Estágio 1 do SMED

Nº Op.	Operador A	t (seg.)	t (seg.)	Operador B	Nº Op.		
1	Organizar/ler fichas de produção e as fichas técnicas	E	90				
2	Desligar equipamentos (Verificação)	I	10	185	E	Abastecer transportador com as lâminas	1
3	Organizar/ler fichas de produção e as fichas técnicas	E	17	6	E	Deslocar-se para a traseira da máquina 310	2
4	Alteração de configurações no painel tátil da máquina 310	I	40	11	E	Retirar pontas de corte (Inclui pegar e pousar ferramenta)	3
5	Buscar e calçar luvas	I	5	5	E	Deslocar-se até ao controlador do robô	4
6	Deslocar-se até à mesa de alimentação da máquina	I	5	7	E	Ler e verificar ficha de produção e ficha técnica	5
7	Desapertar os 4 parafusos da espera da mesa de alimentação (superior) - Inclui pegar em chave		17	8	I	Deslocar-se para a máquina 310	6
8	Ajustar posição da mesa de alimentação (superior)	I	18	35	I	Buscar e organizar ferramentas	7
9	Apertar os 4 parafusos da mesa de alimentação - Inclui pousar chave	I	17	2	I	Descalçar luva direita	8
10	Retirar e arrumar suporte da mesa de alimentação	I	14	18	I	Organizar ferramentas	9
11	Desapertar os 2 parafusos da mesa de alimentação (inferior) - Inclui pegar em chave	I	21	3	I	Calçar luva direita	10
12	Ajustar posição da mesa de alimentação (inferior)	I	40	57	I	Desapertar e retirar bloco de suporte 50/60 - Inclui pegar em chave	11
13	Apertar os 2 parafusos da mesa de alimentação (inferior) - Inclui pousar chave	I	20	6	I	Transportar bloco de suporte 50/60 até à zona dos controladores	12
14	Abrir porta de acesso lateral à máquina	I	3	5	E	Verificar dimensões do bloco de suporte da próxima OF	13
15	Desapertar placa de pressão - Inclui pegar e pousar chave	I	36	7	I	Transportar peça de encosto 50/60 até à bancada de ferramentas	14
16	Transportar placa de pressão até à bancada de ferramentas	I	6	3	I	Arrumar peça de encosto 50/60	15
17	Descalçar e pousar luvas	I	3	10	I	Pegar e transportar peça de encosto 60/70 até à máquina	16
18	Trocar calcador para rolo - Inclui pegar e pousar chave	I	71	31	I	Montar peça de encosto 60/70	17
19	Montagem grampo 100 na porta-grampo 3 - Inclui pegar e pousar chave	E	37	18	I	Desapertar perno do cavilhão - Inclui buscar e pousar chave	18
20	Organizar lâminas no transportador	I	27	2	I	Descalçar luva direita	19
21	Descalçar e pousar luvas	I	3	16	I	Premir comandos manuais da máquina (mover cavilhão)	20
22	Transportar rolo até à mesa de alimentação	I	6	10	I	Retirar e pousar o cavilhão 47,5	21
23	Posicionar rolo na máquina	I	5	5	I	Procurar e buscar chave	22
24	Descalçar e pousar luvas	I	3	17	N/A	Espera	23
25	Apertar rolo - Inclui pegar e pousar chave	I	37	24	I	Buscar e organizar ferramentas	24
26	Pegar e calçar luvas	I	7	11	I	Premir comandos manuais da máquina (mover arco de enrolamento)	25
27	Apertos e verificação da mesa de alimentação - Inclui pegar em chave	I	21	24	N/A	Espera	26
28	Desapertar parafusos da porta-grampo 2 + grampo 80	I	10	17	I	Premir comandos manuais da máquina (mover arco de enrolamento)	27
29	Espera (máquina em operação manual)	N/A	15	3	I	Calçar luva direita	28
30	Desapertar parafusos da porta-grampo 2 + grampo 80	I	29	13	I	Apertos e verificação	29
31	Deslocar-se até à bancada de ferramentas	I	6	3	I	Descalçar luvas	30
32	Apertar grampo 100 na porta-grampo 3 - Inclui pousar chave	E	21	28	I	Premir comandos manuais da máquina (mover cilindro)	31
33	Transportar e pousar porta-grampo 3 + grampo 100	I	6	7	I	Buscar taco de madeira	32
34	Espera (Op. B a retirar porta-grampo 2 + grampo 80)	N/A	56	9	I	Colocar tacos de madeira debaixo do porta-grampo	33
35	Retirar porta-grampo 2 + grampo 80	I	7	23	I	Premir comandos manuais da máquina (cilindro)	34
36	Entregar conjunto da porta-grampo 3 + grampo 100 ao Op. B	I	4	3	I	Calçar luvas	35
37	Transportar e arrumar porta-grampo 2 + grampo 80 na bancada de ferramentas	I	10	3	I	Retirar porta-grampo 2 + grampo 80 e entregar ao Op. A	36
38	Espera	N/A	47	4	I	Retirar e arrumar taco de madeira	37
39	Deslocar-se até à zona dos controladores	I	8	4	I	Pegar na porta-grampo 2 + grampo 80 entregue pelo Op. A	38
40	Ligar e verificar sistema	I	14	19	I	Posicionar porta-grampo 2 + grampo 80	39
41	Deslocar-se até ao controlador do forno	I	9	28	I	Montar porta-grampo 2 + grampo 80 - Inclui buscar e pousar chaves	40
42	Descalçar luva direita	I	2	14	I	Buscar cavilhão 47,5	41
43	Configurar forno e transportador	I	56	11	I	Fechar porta de acesso lateral	42
44	Deslocar-se até ao sensor do transportador (calçar a luva direita no percurso)	I	5	9	I	Transportar o cavilhão 47,5 até aos controladores e verificar dimensões do próximo cavilhão	43
45	Ajustar sensor do robô	I	25	4	E	Buscar paquímetro	44
46	Deslocar-se até à zona da paletizadora (descalçar luvas no percurso)	I	13	34	E	Transportar cavilhão 47,5 até à ferramentaria	45

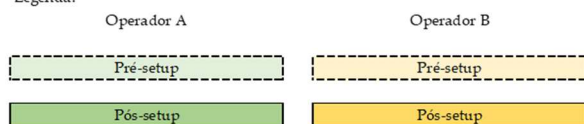
Tabela 5-13 – Listagem Estágio 1 do SMED (continuação)

Nº Op.	Operador A	t (seg.)		t (seg.)		Operador B	Nº Op.
47	Buscar fita métrica	I	4	9	E	Arrumar cavilhão 47,5 no local designado	46
48	Deslocar-se até à zona da mesa de alimentação da máquina	I	13	13	E	Buscar cavilhão 60	47
49	Verificar a medida da espera do batente da mesa de alimentação com a fita métrica	I	21	6	E	Confirmar dimensões do cavilhão 60	48
50	Deslocar-se até à zona da bancada de ferramentas	E	4	25	E	Transportar cavilhão 60 (arrumar paquímetro no percurso)	49
51	Buscar padrão para a escala de centros	E	5	7	I	Abrir porta de acesso lateral	50
52	Deslocar-se até à zona da paletizadora e arrumar fita métrica	E	6	7	I	Posicionar cavilhão 60	51
53	Substituir padrão da escala de centros	E	40	4	I	Buscar ferramentas	52
54	Ajustar as medidas da escala de centros	E	10	143	I	Apertar e ajustar o cavilhão 60	53
55	Transportar e arrumar padrão da escala de centros na bancada de ferramentas	E	3	3	I	Descalçar luva direita	54
56	Deslocar-se até à mesa de alimentação da máquina	I	5	34	I	Premir comandos manuais da máquina (subir arco de enrolamento e encostar bloco de suporte)	55
57	Calçar luvas	I	3	3	I	Calçar luva direita	56
58	Espera	N/A	26	7	I	Arrumar ferramentas	57
59	Buscar barra de metal e martelo	I	10	40	I	Posicionar mesa	58
60	Retirar a mesa de enrolamento com o auxílio do Op. B	I	99	21	I	Desapertar parafusos do cilindro/cabeça de corte (Buscar e pousar chave)	59
61	Descalçar luvas	I	3	3	I	Empurrar manualmente cabeça de corte	60
62	Pousar barra de metal e martelo	I	3	25	I	Descalçar luva direita	61
63	Premir os comandos manuais da máquina	I	29	3	I	Premir comandos manuais da máquina (movimentar cabeça de corte)	62
64	Calçar luvas	I	4	20	I	Calçar luva direita	63
65	Espera	N/A	32	72	N/A	Apertar os parafusos do cilindro/cabeça de corte (Buscar chave)	64
66	Apertos e verificação	I	54	19	I	Espera	65
67	Pegar na barra de metal e martelo	I	3	4	I	Retirar e arrumar ferramentas que se encontravam no interior da máquina	66
68	Ajustar mesa de enrolamento	I	4	8	I	Fechar a porta de acesso lateral à máquina	67
69	Arrumar chaves	I	19	3	I	Arrumar as ferramentas utilizadas	68
70	Deslocar-se até ao final do transportador	I	3	28	I	Descalçar luva direita	69
71	Organizar lâmina de teste para o robô	I	41	16	I	Regular a cadência do transportador no controlador	70
72	Espera	N/A	235	5	I	Deslocar-se para a zona dos controladores do robô	71
73	Deslocar-se até aos controladores do robô	I	11	296	I	Descalçar luvas e arrumar luvas	72
74	Organizar documentação	E	32	7	I	Programação do robô - Inclui pegar e pousar no comando	73
75	Premir os comandos da mesa de alimentação da máquina 310	I	38	12	I	Movimentação lâmina teste/alteração parâmetros no painel tátil (mesa de alimentação e ferramentas da máquina)	74
76	Verificar e alterar parâmetros introduzidos (painel tátil)	I	106	11	I	Programação do robô - Inclui pegar no comando	75
77	Deslocar-se até ao controlador do forno	I	11	7	I	Arrumar comando do robô e pegar nas luvas	76
78	Premir comandos e ligar forno	I	23	8	I	Deslocar-se para a zona da paletizadora (Descalçar luva esquerda no trajeto)	77
79	Deslocar-se até ao controlador do robô	I	12	6	I	Premir botão "setup" da paletizadora para mover as correias transportadoras	78
80	Organizar OF futuras	E	80	3	I	Calçar luva esquerda	79
81	Espera	N/A	51	8	I	Recolher lâmina de teste das correias transportadoras da paletizadora	80
82	Registrar as configurações utilizadas nas fichas técnicas	E	65	6	I	Transportar lâmina de teste até ao transportador	81
83	Deslocar-se até ao controlador do forno	I	6	7	I	Transportar lâmina de teste até ao transportador	82
84	Verificar indicadores e funcionamento	I	16	6	I	Posicionar lâmina no transportador	83
85	Deslocar-se até ao controlador do robô	I	6	43	I	Deslocar-se para o carro com a paleta	84
86	Registrar as configurações utilizadas e organizar documentação	E	95	9	I	Confirmar posicionamento correto da paleta	85
87	Dar indicações e comunicar com o Op. B	I	8	5	I	Empurrar carro até ao sítio destinado e fixar	86
88	Organizar documentação e verificar OF seguinte	E	243	5	I	Deslocar-se para a zona do controlador do robô	87
						Verificação ficha de produção	88
						Deslocar-se para a mesa de alimentação	89
						Apertos e ajustes	90
						Arrumar ferramentas	91
						Deslocar-se para a zona dos controladores	92
						Consultar informações da dimensão a ser introduzida na escala de centros	93
						Deslocar-se para a zona da paletizadora (Descalçar luvas no trajeto)	94

Tabela 5-13 – Listagem Estágio 1 do SMED (continuação)

Nº Op.	Operador A	t (seg.)	Nº Op.	Operador A	t (seg.)	Nº Op.	Operador A
89	Espera (aquecimento lâminas)	N/A	58	3	1	Pousar luvas	
90	Deslocar-se até ao controlador do forno	1	4	33	1	Confirmar medida da escala de centros	
91	Verificar as condições de funcionamento	1	22	12	1	Recolher luvas e deslocar-se para a zona dos controladores	
92	Deslocar-se até aos controladores	1	7	20	1	Consultar informações da produção	
93	Premir controladores e iniciar produção	1	5				

Legenda:



5.5.2.3 Estágio 2

Nesta fase, o objetivo principal é converter atividades internas em externas. Para alcançar esse objetivo, cada uma das atividades internas foi analisada individualmente. Foi possível identificar potenciais melhorias para algumas das atividades internas:

- **Manuseio/Organização de ferramentas:**

A partir do levantamento inicial é visível o tempo perdido pelos operadores no manuseio das ferramentas. Este processo provoca também tempos de espera prolongados, em situações em que há movimentação de ferramentas e apenas um operador se encontra em funções. Existe uma bancada de ferramentas, onde os componentes (cabeça de enrolamento, placa de pressão, porta-grampo, etc.) são preparados e mantidos prontos para uso. No entanto, a bancada deve ser alvo de melhorias e incluir *racks* com suportes e contornos específicos para cada ferramenta, agilizando o processo de manuseio e transporte. A bancada de ferramentas será abrangida e alvo de melhoria no âmbito do 5S, devendo ter em conta esta especificidade.

- **Configurações dos equipamentos:**

As configurações da Máquina 310 e do Robô 646 são morosas e representam mais de um terço do tempo total de *setup*. Alterações neste processo implicam um investimento elevado. Contudo, será relevante analisar a viabilidade de criar uma interface de programação, onde a utilização de sensores e um *software* específico permita agilizar o processo e torná-lo mais eficiente. Ao manter uma biblioteca de configurações padrão, eliminar-se-ia a necessidade de efetuar uma nova configuração a cada produção. Para a alteração de configurações no painel tátil da Máquina 310, seria importante inserir e ajustar os parâmetros com base nas fichas de produção, onde a informação se encontra descrita e os parâmetros podem ser carregados automaticamente.

6.5.2.4 Estágio 3

O último estágio passa pela redução do tempo de todas as tarefas de *setup*, com incidência na diminuição do tempo despendido nas atividades externas. Com esse objetivo, foram propostas soluções relativas à melhoria do sequenciamento e padronização das tarefas de troca de referência. Foram também propostas algumas soluções de carácter mais técnico.

- **Melhoria do sequenciamento e padronização das tarefas de troca de referência**

Diversas problemáticas identificadas na análise do SMED vão de encontro à aplicação da metodologia 5S. Verifica-se um tempo considerável perdido na procura de ferramentas e materiais necessários, devido à sua ineficiente organização e disposição, aumentando o tempo necessário para troca de referência. Com a aplicação do 5S será, à partida, possível reduzir estes tempos desnecessários. Para o sucesso da aplicação da ferramenta SMED é necessário standardizar o processo de mudança de ferramenta, funcionando, não só como auxílio para execução das tarefas, mas também como base para dar seguimento à monitorização das alterações implementadas. Após as melhorias propostas serem colocadas em prática, deverá ser criado um plano de procedimentos para alterações de *setup*, de acordo com a ferramenta *Standardized Work*. Este plano será fundamental para monitorizar a utilização da ferramenta, assim como para servir de referência de treino para as atividades e formação de novos operadores.

- **Implementação de soluções técnicas**

- Carro modular de transporte de ferramentas

A utilização de um carro modular de transporte com áreas designadas para diferentes componentes (fabrico anterior e posterior), desenvolvido para uma rápida carga e descarga, surge como outra oportunidade. Este carro deve ser equipado com ferramentas de aperto/desaperto e os conjuntos de ferramentas necessários, com base na tarefa ou componente específico com o qual se irá trabalhar. O carro deve poder ser movimentado para o local da operação de mudança de ferramenta, evitando movimentações desnecessárias. Contudo, sem alterações no *layout*, o seu uso é inexequível.

- Carro de transporte para lâminas

Outra situação não contemplada na observação da listagem efetuada, corresponde à operação de enrolamento bilateral das lâminas. Após a conclusão do processo produtivo de enrolamento de um dos lados, as lâminas têm de ser transportadas para uma zona designada, onde ocorre o arrefecimento com o auxílio de ventiladores. Só após este processo

de arrefecimento é que poderá ser realizado novamente o *setup*. É necessário dispor-se de uma lâmina que tenha atravessado o processo produtivo para proceder-se à calibração do Robô 646, da Mesa de Alimentação e da Máquina 310. Em casos particulares, poderá ser também necessário a alteração de ferramentas da Máquina 310. O processo de arrefecimento é caracterizado pela sua morosidade, resultando em uma interrupção média na produção entre 15 e 30 minutos, consoante a espessura das lâminas. Durante o arrefecimento, as lâminas são expostas a correntes de ar controladas, para dissipação do calor gerado durante o processo de enrolamento. Este processo evita a ocorrência de deformações indesejadas e garante que as lâminas atinjam as especificações pretendidas.

O método operacional em vigor segue uma ótica *Last in, first out* (LIFO), na medida que as últimas lâminas produzidas são as utilizadas para a calibração dos equipamentos. Dado que a maioria dos lotes tem dimensão reduzida, normalmente, apenas uma palete é preenchida com as lâminas enroladas e a última lâmina carregada na paleta é a utilizada. O arrefecimento moroso das lâminas resulta em tempos de espera consideráveis entre os processos de enrolamento e a etapa de produção subsequente. Durante esse período, os equipamentos e os operadores ficam inativos, o que resulta numa interrupção do fluxo de trabalho. Desta forma, se a primeira lâmina conforme a ser produzida fosse transportada para arrefecimento, o processo seria agilizado. A lâmina de calibração estaria a arrefecer enquanto o processo produtivo decorre. No entanto, a utilização do empilhador para o transporte de uma única lâmina não é eficiente, tendo em conta a sua disponibilidade. Consequentemente, propõe-se a utilização de um carro de transporte apropriado para movimentar a lâmina de calibração, representado na Figura 5-7. Idealmente, deve poder ser posicionado em substituição do carro da paleta que compõe o Paletizador. A adoção desta solução permite diminuir o tempo ocupado nas referências que contemplam as operações de "Arrefecimento, *Setup* e Aquecimento".



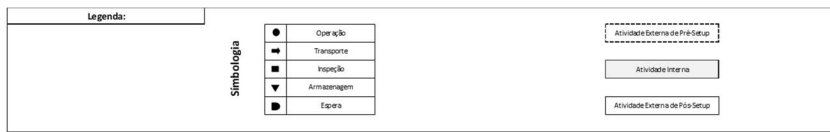
Figura 5-7 – Carro de transporte para lâminas proposto

5.5.3 *Standardized Work*

Apesar da ELO–Automotive ser uma empresa com um elevado nível de organização e rigor, as Instruções de Trabalho para o setor são bastante genéricas, descrevendo apenas ações de autocontrolo e registos a efetuar. Não obstante, existem algumas Instruções de Trabalho para procedimentos complexos, como os relacionados com a configuração do Robô 646. Durante o período analisado, verificou-se uma elevada variabilidade e falta de rigor na execução das tarefas pelos operadores. Assim, a padronização do trabalho através de uma descrição detalhada das tarefas e dos passos a seguir, terá bastante utilidade e será uma mais-valia. Destaca-se a mudança de *setup*, evidenciada no SMED, onde a componente manual é predominante.

A flexibilidade do setor, inerente à polivalência dos operadores, evita quebras produtivas, mas também pode levar ao esquecimento involuntário de procedimentos, com consequentes tempos de espera. A aprendizagem e formação dos operadores também se estende por um período mais prolongado do que seria recomendado. Não existe nenhum suporte para a formação, para além da transmissão de conhecimentos pelo operador com experiência. Desta forma, a padronização do trabalho, possui um papel importante. Para tal, propõe-se a criação de um manual para o setor, que se encontre na área de trabalho e seja de fácil acesso para esclarecimento de eventuais dúvidas. Neste manual devem encontrar-se descritas as seguintes informações:

- Descrição do setor de trabalho;
- Manuais de funcionamento dos equipamentos (Robô 646 e Máquina 310). Os manuais existentes encontram-se em inglês, devendo ser traduzidos para português, garantindo uma compreensão íntegra e adequada do modo de funcionamento dos equipamentos;
- Descrição dos principais procedimentos (operações, duração, ferramentas a utilizar, etc.). Na Figura 5-8 encontra-se o exemplo do procedimento para a troca do cavilhão;
- Planos e instruções de trabalho.



Atividade Ordem	Troca do cavilhão		Operador Responsável	Tipo de operação	Ferramentas Necessárias		Duração esperada (segundos)	Local	Distância Percorrida (metros)	Observações
	Atividades				Nomes/descrição	Representação				
1	Verificar dimensões do cavilhão (Df e ficha técnica)		Operator B	● → □ ▽ D			5,0	Mesa controladores		É necessário verificar as dimensões do cavilhão a ser utilizado. Esta operação deve ser sempre realizada antes de se ir buscar o cavilhão. Se o operador não tiver consigo o paquímetro tem de recolhê-lo.
2	Deslocar-se até à ferramenta		Operator B	→ □ ▽ D			30,0		35,0	
3	Armazenar cavilhão no local designado		Operator B	→ □ ▽ D			6,5	Ferramentaria		
4	Retirar cavilhão designado		Operator B	● → □ ▽ D			7,5	Ferramentaria		
5	Verificar dimensões do cavilhão		Operator B	● → □ ▽ D		Paquímetro		7,0	Ferramentaria	
6	Transportar cavilhão até à bancada de ferramentas		Operator B	→ □ ▽ D			25,7		30,0	
7	Pousar cavilhão no local designado da bancada de ferramentas		Operator B	→ □ ▽ D			2,0			
8	Deslocar-se até à Máquina 310		Operator B	→ □ ▽ D			3,5		4,0	
9	Espera para fim de produção e enfileiramento do cavilhão		Operator B	● → □ ▽ D			N/A			
10	Desapertar o pino rosado fixador do cavilhão		Operator B	● → □ ▽ D		Chave sextavada 6 (Longa) Chave sextavada 6 (Curta)		13,2	Máquina 310 (Acesso lateral)	
11	Recuar completamente o cavilhão		Operator B	● → □ ▽ D			11,6	Máquina 310 (Acesso lateral)		
12	Retirar cavilhão		Operator B	● → □ ▽ D			5,5	Máquina 310 (Acesso lateral)		
13	Transportar cavilhão retornado até à bancada de ferramentas		Operator B	→ □ ▽ D			3,0	Máquina 310 (Acesso lateral)	4,0	
14	Pousar cavilhão e pagar no cavilhão		Operator B	● → □ ▽ D			6,0	Bancada de ferramentas		
15	Transportar cavilhão até ao equipamento		Operator B	→ □ ▽ D			5,0		4,0	
16	Pousar cavilhão na peça de encosto		Operator B	● → □ ▽ D			16,3	Máquina 310 (Acesso lateral)		
17	Ajustar parafusos de apoio da peça de encosto		Operator B	● → □ ▽ D		Chave sextavada 14		10,0	Máquina 310 (Acesso lateral)	
18	Apertar os parafusos inferiores da peça de encosto		Operator B	● → □ ▽ D		Chave sextavada 14		30,0	Máquina 310 (Acesso lateral)	
19	Apertar os parafusos de apoio da peça de encosto		Operator B	● → □ ▽ D		Chave sextavada 14		43,0	Máquina 310 (Acesso lateral)	
20	Retirar o cavilhão da peça de encosto		Operator B	● → □ ▽ D			3,0	Máquina 310 (Acesso lateral)		
21	Posicionar cavilhão no local designado (dentro do tubo de enfileiramento)		Operator B	● → □ ▽ D			8,0	Máquina 310 (Acesso lateral)		
22	Avançar completamente o cavilhão		Operator B	● → □ ▽ D			12,7	Máquina 310 (Acesso lateral)		Poderá ser necessário efetuar ajustes manuais
23	Apertar pino rosado fixador do cavilhão		Operator B	● → □ ▽ D		Chave sextavada 6 (Longa) Chave sextavada 6 (Curta)		21,6	Máquina 310 (Acesso lateral)	
24	Rodar arco de enrolamento		Operator B	● → □ ▽ D			19,2	Máquina 310 (Acesso lateral)		

Figura 5-8 – Procedimentos para a troca do cavilhão

5.5.4 Kaizen

O *Kaizen* promove melhorias significativas num processo através do envolvimento ativo de todos os colaboradores. Nas causas-raiz identificadas: "Limitações nos recursos disponíveis para investimento em tecnologia que tornem o processo de arrefecimento mais eficiente" e "Falta de consciência sobre a importância de uma configuração adequada e rápida da mesa de alimentação", a limitação de recursos destaca-se como principal obstáculo à sua resolução. Esta situação reflete a relação complexa entre as evidentes necessidades

operacionais, com as limitações a nível de recursos e soluções técnicas fiáveis que agilizem os processos, sem comprometer a qualidade do aço.

A ELO–Automotive tem demonstrado recetividade ao constante *feedback* dos seus colaboradores, incentivando uma cultura de comunicação aberta entre os diferentes níveis da organização. Esta abordagem proporciona um contexto favorável para a identificação proativa de problemas e surgimento de propostas que, em caso de validação, são implementadas. Um exemplo desta dinâmica foi a criação do Paletizador do Setor de Enrolamento Mestra (310). Anteriormente, a paletização era efetuada através de um elevador magnético operado manualmente. Contudo, problemas surgiam com frequência devido ao mau funcionamento do íman, derivado da temperatura a que as lâminas de aço se encontravam. Através de uma sugestão do encarregado de produção, surgiu o Paletizador, um equipamento inovador desenvolvido pela organização, completamente automático e programável. A sua integração no processo produtivo traduziu-se num aumento da eficiência e segurança, bem como na redução de tempos de paragem.

Nos eventos *Kaizen*, com o envolvimento de operadores, encarregados e diferentes departamentos (Manutenção, Qualidade, Técnico, Planeamento e Gestão), é possível identificar melhorias de baixo custo através de soluções inovadoras para os processos. O papel dos eventos *Kaizen* revela-se fundamental no caso da Mesa de Alimentação, que aguarda soluções definitivas, embora tenham sido já consideradas diversas propostas. O seu ajuste recorrente, é uma tarefa que, atualmente, consome tempo e recursos. De forma idêntica, o processo de arrefecimento precisa de ser agilizado.

Para esse efeito, face à necessidade emergente de abordar tais desafios, propõe-se a adaptação da metodologia presente em [74]. No entanto, visto que se pretende intervir em problemas já anteriormente identificados, o foco assenta nas fases de Execução e Resultados. Como tal, a prioridade deve recair na ação concreta e na avaliação dos impactos das soluções propostas (Figura 5-9). Ao adotar esta abordagem e integrar as soluções identificadas, a ELO–Automotive posiciona-se como uma organização proativa, preparada para implementar e monitorizar as melhorias necessárias aos processos/equipamentos.

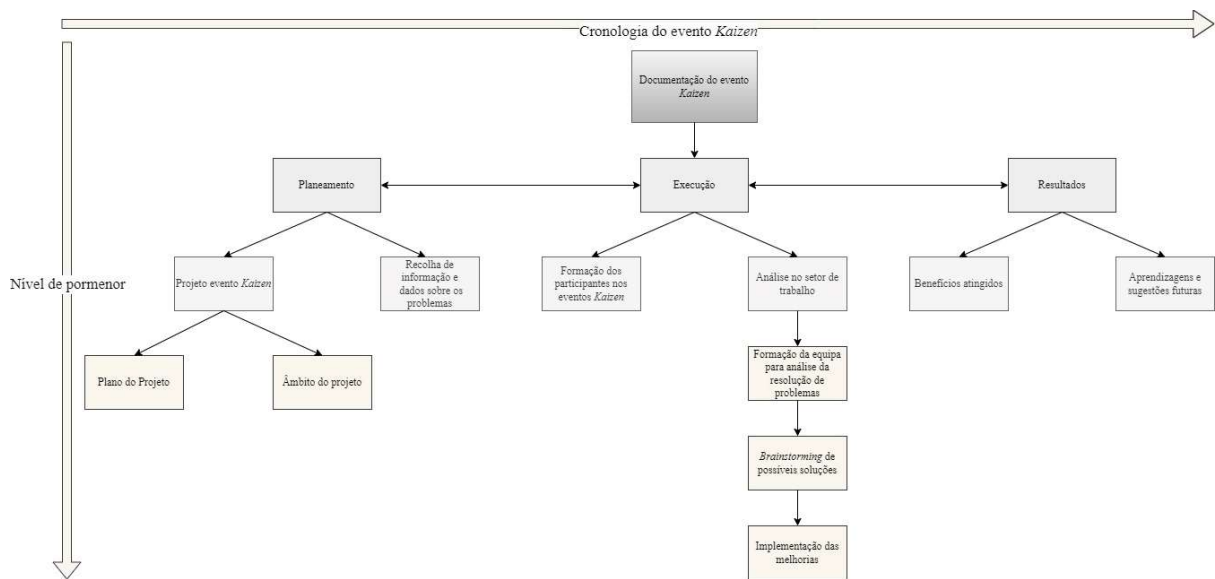


Figura 5-9 – Metodologia para aplicação do evento *Kaizen* (Fonte: Adaptado de [74])

5.5.5 TPM

Os equipamentos existentes no setor de trabalho possuem uma importância fulcral para a organização. Quando ocorrem falhas nos equipamentos, as alternativas existentes não são compatíveis com as especificidades produtivas. Desta forma, quando ocorrem falhas verificam-se paragens na produção. A ELO–Automotive adotou recentemente a prática do TPM, iniciada em 2019 em alguns setores, sendo implementada gradualmente na empresa. A prática do TPM adotada possui dois níveis:

- **Nível I:** Relativo à manutenção autónoma, um dos pilares da metodologia TPM. Os operadores encontram-se envolvidos, cumprindo padrões de manutenção que incluem inspeções, verificações, limpezas e lubrificações, contribuindo para a prevenção de avarias e melhorias no processo (Anexo B).
- **Nível II:** Referente à manutenção preventiva, onde se inserem os planos de manutenção dos equipamentos elaborados e efetuados pelo Departamento de Manutenção. Para os equipamentos considerados como vitais, por exemplo, o Forno 548 e a Máquina 310, encontram-se detalhadamente descritas todas as ações necessárias para assegurar o seu funcionamento adequado e a periodicidade com que devem ser executadas. A manutenção preventiva é realizada com o intuito de prevenir as paragens não programadas e manutenções corretivas, habituais num ambiente produtivo não controlado.

Contudo, no setor de trabalho de Enrolamento Mestra (310) identificou-se que alguns dos equipamentos não estão em condições ideais de funcionamento, o que pode comprometer o processo produtivo. Por outro lado, há uma desconsideração dos operadores pelo TPM. Assim, melhorias na implementação do TPM são fundamentais, propondo-se as seguintes melhorias:

- **Manutenção preventiva**

No desenvolvimento dos planos de manutenção será vantajoso envolver-se entidades externas. Através da colaboração das empresas que prestam serviços específicos de manutenção preventiva e os fabricantes dos equipamentos existentes, poderá ser melhorada a deteção e prevenção de falhas recorrentes. Estabelecer parcerias com estas empresas para melhorar a manutenção preventiva irá permitir agilizar diversas intervenções de carácter mais crítico.

- **Manutenção autónoma**

A desconsideração existente dos operadores pelo TPM é um dos maiores obstáculos ao seu sucesso. Apesar de terem sido realizadas formações relativas ao TPM, a formação contínua é essencial para garantir que as tarefas de manutenção autónoma sejam desempenhadas eficazmente e em segurança. Neste contexto, deve ser promovido um ambiente de colaboração, com o suporte ativo do Departamento de Manutenção, sendo disponibilizadas as ferramentas e recursos necessários. Este ambiente permitirá que os operadores se possam sentir capacitados e motivados a desempenhar um papel ativo na manutenção. Também irá permitir aumentar a eficiência e produtividade do setor de trabalho e melhorar a cultura de manutenção da empresa. A aplicação do 5S é também vital para a execução eficaz da maioria das tarefas de manutenção autónoma. Através de um espaço de trabalho limpo e organizado as atividades de manutenção autónoma são facilitadas.

- **Registo e gestão da informação**

Quando ocorre uma paragem, esta é descrita pelos operadores na folha do Controlo de Produção, onde indicam a falha detetada e a sua duração. São registados os motivos de paragem do equipamento: avaria, manutenção, limpeza, falta de matéria-prima ou outros. Posteriormente, as informações sobre as avarias são tratadas e inseridas manualmente numa folha de cálculo no *Microsoft Excel* criada para o efeito, sendo utilizadas para a estimação de indicadores previamente definidos. Esta abordagem possui limitações na medida que a qualidade do registo pode não ser totalmente fiável, dependendo da precisão de quem insere a informação. Outro fator limitativo é que paragens de curta duração devido a avarias podem não ser registadas.

A integração de um computador com um *software* de manutenção específico ou um sistema apropriado para inserir informações relativas às paragens nos equipamentos, permitiria aos operadores registar com precisão e rapidez os momentos em que ocorrem interrupções e quando a produção é retomada. Desta forma, seria possível determinar com exatidão o tempo de paragem e o motivo subjacente à falha. No âmbito das ações de manutenção corretiva, a descrição da falha apresentada pela máquina e das ações executadas para solucionar o problema poderia ser igualmente registada, promovendo uma compreensão pormenorizada das questões operacionais.

Com a manutenção assistida por sistemas eletrónicos, a gestão de informação seria mais eficiente, evitando o tratamento manual da informação recolhida e tornando o cálculo de indicadores automático. A integração de novas tecnologias desempenha um papel crucial no apoio à manutenção industrial e na gestão de informação, permitindo que informações e serviços de manutenção se tornem acessíveis e transparentes. O principal desafio, num caso como o da ELO–Automotive, é adequar a tecnologia e as ferramentas disponíveis aos recursos existentes, de forma que se retire o maior rendimento possível. Esta análise deverá ser feita conjuntamente com o Departamento de Manutenção e com a mão-de-obra especializada.

5.5.6 5S

A aplicação da ferramenta 5S foi efetuada em conjunto nos setores de Enrolamento Mestra e de Enrolamento Segundas. Inicialmente, para contextualização da ferramenta, foi realizada uma sessão de formação (Módulo I), com duração aproximada de 1 hora, na qual estiveram presentes os operadores responsáveis pela aplicação do 5S nas suas áreas de trabalho. A formação contemplou uma contextualização histórica da ferramenta e a explicação em detalhe sobre o que cada termo 5S simboliza. Durante a formação, foram apresentados resultados da aplicação do 5S em outras empresas e em diferentes setores, ilustrando o impacto positivo da ferramenta.

As chefias tiveram também uma ação de formação (Módulo II), na qual, para além dos conteúdos abordados no Módulo I, foram também transmitidos em detalhe os objetivos a atingir com o 5S e o seu enquadramento no panorama da produção, para além de formas de monitorização da ferramenta. A aplicação desta ferramenta visa a criação de um ambiente de trabalho com maior produtividade e é composta pelas etapas identificadas no Capítulo 2, aqui descritas:

5.5.6.1 Separação

Na etapa inicial de separação, a equipa responsável pelos setores dos enrolamentos (Mestra e Segunda), definiu em conjunto as necessidades específicas cada posto de trabalho. Embora cada setor possua o seu próprio espaço de arrumação de ferramentas e material, algumas ferramentas são partilhadas, e os operadores frequentemente transitam entre setores, devido à polivalência que possuem. Esta etapa consistiu na remoção de tudo o que era desnecessário no ambiente de trabalho, removendo-se diversos materiais e ferramentas obsoletos e irrelevantes.

A Figura 5-10 representa a triagem com o material desnecessário que se encontrava nos setores. Verifica-se que existiam diversos materiais e ferramentas desnecessárias a ocupar o espaço de trabalho. Após conclusão desta etapa, foi notável a melhoria em termos visuais dos setores, verificando-se somente a existência de itens relevantes.



Figura 5-10 – Material e ferramentas desnecessárias existente nos setores de Enrolamento Mestra e de Enrolamento Segundas

A Figura 5-11 representa o antes e o depois da separação, visível na zona dos controladores do setor de trabalho.



Figura 5-11 – Fase de Separação na zona dos controladores: (A) Antes e (B) Depois

5.5.6.2 Organização

Na etapa de organização cada item identificado como necessário no posto de trabalho deve possuir um local específico de arrumação, de acesso fácil e intuitivo. Para o setor de enrolamentos da Lâmina Mestre, foram desenvolvidas duas soluções:

- **Ferramentas essenciais de *setup***

Um dos problemas identificado como prioritário foi as ferramentas de *setup* essenciais não possuírem uma posição pré-definida e estarem em locais de difícil acesso, o que frequentemente provocava a desorganização e queda das ferramentas utilizadas. Identificou-se como causa-raiz: “Inexistência de uma avaliação das necessidades de ferramentas para troca de *setup* e de um espaço apropriado”. Para solucionar este problema, foi efetuada uma avaliação das necessidades de ferramentas e concebida uma solução inovadora: um suporte vertical rotativo. Na parte superior deste suporte, são colocadas as ferramentas mais frequentemente utilizadas, enquanto à parte inferior, são alocados componentes da Máquina 310 que não necessitam de modificação durante a troca de *setup*, nomeadamente os blocos de suporte. O modelo 3D deste suporte foi desenvolvido no *software* SOLIDWORKS. Embora represente uma solução interessante para a organização, o seu desenvolvimento e instalação são complexos, contudo, uma solução mais prática foi desenvolvida (Apêndice F);

- **Outras ferramentas e peças**

Para as outras ferramentas e peças necessárias foi substituída a bancada de ferramentas atual para uma específica, que contém espaços demarcados para arrumação e organização, além de possuir identificadores com a designação apropriada (Figura 5-12).



Figura 5-12 – Fase de organização na bancada de ferramentas: (A) Antes e (B) Depois

5.5.6.3 Limpeza

Nesta fase é essencial que todas as áreas de trabalho e itens utilizados estejam limpos. Este processo estabelece uma rotina nos operadores e promove um sentimento de orgulho no espaço. Um espaço de trabalho limpo e organizado facilita a detecção de falhas no sistema, principalmente no caso deste setor, em que as fugas de óleo provenientes dos sistemas hidráulicos são recorrentes.

5.5.6.4 Padronização

A padronização das tarefas de trabalho, principalmente as relativas à limpeza, era algo que já se encontrava desenvolvido nas práticas de TPM. A utilização de gestão visual para demarcar espaços de arrumação e localização também era uma prática habitual, porém, nesta fase, deverá ser alvo de melhorias.

5.5.6.5 Disciplina

Sustentar ao longo do tempo um programa de disciplina é a etapa mais difícil e fundamental para garantir o sucesso da implementação do 5S. Esta fase requer o compromisso de todos os intervenientes em aderir e cumprir os padrões e procedimentos estabelecidos. Embora ainda não tenham sido alvo de aplicação, para a manutenção do programa, sugere-se a aplicação de auditorias periódicas ao 5S, utilizando *checklists* (Apêndice G), auditorias *Kamishibai* e o reconhecimento das melhorias alcançadas através da partilha de resultados "Antes/Depois", para automotivação dos operadores.

5.5.7 Gestão Visual

A gestão visual é reconhecida na ELO–Automotive como uma ferramenta que permite organizar as informações de forma explícita e concisa. Permite apresentar a evolução de diversos parâmetros e fornece informações atualizadas a todos os colaboradores, uma vez que é acessível a todos. É utilizada para, por exemplo, divulgação de conteúdos relativos a temas como produtividade, segurança e qualidade. O quadro TPM de Nível I preenchido pelos operadores com a periodicidade definida exemplifica esta prática. Outra evidência é o preenchimento do quadro relativo ao Controlo de Produção, onde é descrito o objetivo (valor alvo a produzir), atual (valor produzido), desvio (diferença entre o valor alvo e o valor produzido) e observações (avaria, absentismo, falta de material ou outro motivo).

Perante as causas-raiz identificadas: "Desconsideração e falta de manutenção preventiva adequada", "Inexistência de procedimentos padronizados" e "Desconsideração pela limpeza e organização do local de trabalho" a gestão visual, principalmente através da criação e aplicação de auditorias *Kamishibai* representa um excelente método para garantir o sucesso da implementação do TPM, do *Standardized Work* e do 5S, respetivamente.

As auditorias *Kamishibai* periódicas permitem consolidar a implementação e contribuir para a sustentação de cada uma das ferramentas. Os pontos indicados na *checklist* do *Kamishibai* devem ser detalhadamente verificados. Em caso de incumprimento de um ou

mais pontos, significa que a ferramenta não se encontra corretamente implementada e a face vermelha ficará voltada para cima. Os pontos em incumprimento devem ser alvo de análise, permitindo a identificação da sua causa e posterior resolução. Na Figura 5-13 encontra-se representado o *template* do cartão *Kamishibai* desenvolvido para as auditorias 5S.

Secção	
O espaço contém apenas os materiais, ferramentas e documentos necessários	<input type="checkbox"/>
Existem espaços específicos devidamente identificados para arrumação de materiais, ferramentas e documentos	<input type="checkbox"/>
Os espaços de arrumação são mantidos limpos e em bom estado	<input type="checkbox"/>
O espaço encontra-se limpo e organizado	<input type="checkbox"/>
Os equipamentos e ferramentas são mantidos limpos e em boas condições para uso	<input type="checkbox"/>
Os procedimentos e responsabilidades para manter o 5S encontram-se definidas	<input type="checkbox"/>
A sustentabilidade do 5S é garantida	<input type="checkbox"/>

Secção	
O espaço contém apenas os materiais, ferramentas e documentos necessários	<input type="checkbox"/>
Existem espaços específicos devidamente identificados para arrumação de materiais, ferramentas e documentos	<input type="checkbox"/>
Os espaços de arrumação são mantidos limpos e em bom estado	<input type="checkbox"/>
O espaço encontra-se limpo e organizado	<input type="checkbox"/>
Os equipamentos e ferramentas são mantidos limpos e em boas condições para uso	<input type="checkbox"/>
Os procedimentos e responsabilidades para manter o 5S encontram-se definidas	<input type="checkbox"/>
A sustentabilidade do 5S é garantida	<input type="checkbox"/>

Figura 5-13 – *Template* cartão *Kamishibai* 5S

5.6 Etapa 6: Análise dos resultados

A última etapa do modelo estruturado proposto centra-se na análise dos resultados obtidos com a aplicação das ferramentas *Lean* e melhorias propostas. Pretende-se que as ferramentas contribuam para a eliminação das causas concretas dos problemas identificados.

Para a completa implementação do *Lean* no setor, será necessário um horizonte temporal maior. Deve ser também efetuada uma análise pormenorizada da viabilidade de cada proposta, face aos recursos existentes na empresa. Algumas das ferramentas representam apenas recomendações de implementação, enquanto o TPM, o 5S e a Gestão Visual, encontram-se já numa fase avançada de aplicação. Os resultados iniciais obtidos com estas ferramentas demonstram que permitem eliminar a causa-raiz dos problemas prioritários identificados. Um ponto crucial para a ELO–Automotive é a compreensão das melhorias possíveis sem necessidade de investimento e que uma eficiente alocação dos recursos, alinhada com os interesses da organização, pode contribuir para o aumento da produtividade.

Embora não tenha sido possível implementar a totalidade das ferramentas, os resultados expectáveis com a sua aplicação são evidentes. O *redesign* do *layout*, com a alteração da disposição e remoção de alguns equipamentos, permite melhorar o fluxo de trabalho. A alteração proposta pretende solucionar a principal reclamação dos operadores, de um espaço de trabalho reduzido e pouco funcional. Com base na proposta simulada, verifica-se uma redução da distância percorrida pelos operadores e aumento da quantidade produzida. Com o auxílio do SMED, reduzem-se os tempos de *setup* e elimina-se o tempo de espera para arrefecimento das lâminas. Verifica-se uma redução das movimentações dos operadores (um dos problemas identificados) e menor necessidade de materiais em *stock*. Estes resultados proporcionam à empresa uma maior capacidade de resposta para satisfazer novas encomendas. Os eventos *Kaizen*, através de soluções inovadoras, podem melhorar os processos de configuração da mesa de alimentação e de arrefecimento das lâminas. As melhorias propostas ao TPM, já em prática e com sucesso comprovado, permitem aumentar a disponibilidade dos equipamentos e reduzir o número de paragens não programadas. A adoção de práticas 5S promove a consciencialização e o comprometimento para manter o setor de trabalho organizado. Com o 5S evita-se movimentações desnecessárias dos operadores, peças e ferramentas. Esta metodologia proporciona uma organização apropriada das ferramentas necessárias para o *setup*. A gestão visual, além de ser capaz de resolver por si só diversos problemas, serve também como ótimo complemento a outras ferramentas *Lean*.

Considera-se que as ferramentas terão um impacto positivo não apenas nas causas-raiz dos problemas prioritários identificados, mas também em outros de menor relevância, cumprindo com os objetivos delineados. Com o sucesso da aplicação das ferramentas *Lean* selecionadas será possível contribuir para uma standardização e disseminação bem-sucedida da filosofia *Lean* no setor. Para análise dos resultados é fundamental acompanhar e monitorizar o estado das ferramentas implementadas, com a colaboração de todos os envolvidos no projeto (operadores, chefias intermédias e responsáveis departamentais). Neste processo deve ser verificado se as causas-raiz dos problemas prioritários foram eliminadas ou reduzidas. Em caso de insucesso, é necessário reavaliar o setor crítico, considerando outras ferramentas *Lean* ou uma nova abordagem às aplicadas. Verificando-se melhorias, o foco é sustentar e disseminar a cultura *Lean*, demonstrando o seu êxito e promovendo a melhoria contínua na empresa. Ademais, inicia-se um novo ciclo, identificando-se um novo setor crítico.

5.7 Discussão final

Após comprovada a viabilidade do modelo estruturado no estudo de caso efetuado, diversas ilações podem ser retiradas da sua aplicação. O modelo pretende responder às adversidades existentes na aplicação do *Lean* identificadas na literatura, principalmente em PMEs. Destas adversidades destaca-se a falta de recursos, tanto de tempo como de pessoal [7]. Esta limitação foi evidente na unidade industrial do estudo de caso. Para ultrapassar estas barreiras é selecionada uma área de atuação (setor crítico), sendo identificados e priorizados os principais problemas detetados nesta área fabril, permitindo direcionar e focalizar os recursos existentes.

O modelo tem a vantagem de permitir ter uma visão alargada dos desperdícios ao considerar a sua inter-relação, contrastando com os modelos analisados que apenas consideram a priorização dos desperdícios a eliminar tendo por base a identificação dos recursos críticos [63], [64]. O modelo pode tornar-se demasiado extenso nas três primeiras etapas, o que leva a dificuldades acrescidas quanto à sua adoção, principalmente nas etapas 2 e 3 ("Identificação dos problemas" e "Identificação dos problemas principais"). Esta foi uma das críticas apontadas ao modelo apresentado em [68], mas ainda assim, neste estudo de caso a identificação, descrição e priorização dos 44 problemas foi morosa, exigindo o envolvimento de colaboradores com disponibilidade limitada. Estas etapas, devido à sua morosidade e complexidade, deverão ser repensadas. Poderá ser apropriado optar-se por uma versão mais simplista na identificação e priorização de problemas no setor crítico, em detrimento de despender-se de recursos. Pretende-se que o modelo seja de aplicação prática e intuitiva, não comprometendo recursos da organização.

A abordagem proposta revelou-se adequada para inexperientes na implementação do *Lean*, como foi o caso de alguns dos colaboradores envolvidos, que conheciam apenas superficialmente esta metodologia. Verificou-se a compreensão dos objetivos e da estrutura do modelo por todos os intervenientes no processo. Em oposição a outros modelos presentes na literatura, não exige trabalhadores altamente qualificados e com conhecimentos prévios na aplicação do *Lean* [61], [62]. O constante *feedback* e total envolvimento dos colaboradores constitui um dos principais componentes do modelo, assente numa valorização da componente humana. Esta participação ativa também permitiu atenuar a resistência à mudança por parte dos operadores na implementação das ferramentas propostas.

A seleção das ferramentas *Lean* foi baseada na revisão da literatura, através do considerado como o indicado para cada uma das causas-raiz e nos interesses da organização. Diferentes ferramentas podem ser utilizadas com o mesmo propósito, sendo dependentes do processo produtivo e outros fatores, como o capital disponível na empresa. Comparativamente ao sugerido em [61], que aconselha a utilização de uma metodologia para identificar as ferramentas *Lean* adequadas, o modelo estruturado proposto não segue nenhum critério nesta seleção.

Outro fator não englobado foram as formações *Lean*. Ainda que os métodos utilizados sejam de fácil compreensão, para que uma mudança cultural seja possível, é necessário conduzir ações de formação contínuas. Estas ações permitem aos colaboradores adquirir os conhecimentos e competências necessários [7], [61]. Na empresa do estudo de caso, as ações de formação são constantes, envolvendo também ferramentas *Lean*, como o 5S e o TPM. Contudo, para o modelo poder ser adotado em qualquer organização, deve ser incluída uma etapa que englobe a formação *Lean* para a sua implementação bem-sucedida. Também será adequado a constituição de uma equipa *Lean*, como sugerido em [61], responsável pela organização dos recursos e pelas formações *Lean*. Esta equipa deve definir os indicadores de desempenho, bem como comparar o antes e depois da implementação do modelo. Para o sucesso de aplicação do modelo, é necessário o comprometimento por parte da gestão de topo e desenvolvimento de uma perspectiva estratégica, tal como indicado em [7].

O modelo estruturado proposto foi idealizado em virtude da organização do estudo de caso e da perspectiva externa do autor. Para ter sucesso, deverá ser adaptado às características específicas inerentes a cada organização. Acima de tudo, considera-se que o modelo seja adaptável e sofra as alterações necessárias para cada tipo de sistema produtivo, principalmente nas ferramentas utilizadas.

CONCLUSÃO

No presente capítulo são apresentadas as principais conclusões do trabalho desenvolvido. O modelo estruturado proposto e a sua aplicação no estudo de caso será alvo de análise. Por último, são apresentadas algumas sugestões para eventuais trabalhos futuros.

6.1 Síntese conclusiva

Para se manterem relevantes num mercado global e em constante mudança, permitindo responder à procura diversificada por parte dos clientes, as empresas têm vindo a adotar novas metodologias. O *Lean* possui atualmente amplo destaque, focando-se no aumento da produtividade através da redução dos desperdícios. Não obstante, na literatura consultada, verifica-se uma existência limitada de modelos que permitam às PME's identificar a área de atuação, onde o contributo do *Lean* trará mais vantagens. Desta forma, a presente dissertação consistiu na conceção de um modelo que permita identificar a área fabril onde se verificam mais desperdícios, designado como setor crítico. O modelo estruturado proposto pretende priorizar problemas identificados neste setor, viabilizando a seleção e aplicação das ferramentas *Lean* adequadas.

O modelo estruturado proposto é composto por 6 etapas. Na primeira etapa é efetuada uma análise geral preliminar do sistema em estudo, com o envolvimento e *feedback* da organização. Com esta análise constrói-se o VSM permitindo identificar o setor crítico. Na segunda etapa, é efetuada uma análise pormenorizada deste setor para identificar problemas através do *Genchi Genbutsu*, questionários e outros métodos. A terceira etapa centra-se na classificação dos problemas por grau de importância e impacto nos desperdícios. Para esta classificação aplica-se a QFD a partir da integração de uma Casa da Qualidade adaptada. Com esta abordagem é possível classificar os problemas com base em

diferentes critérios e considerar a inter-relação existente entre os diferentes tipos de desperdícios. Após classificação dos problemas, os prioritários são identificados com o Princípio de Pareto. Na quarta etapa, com o auxílio do 5 *Whys* os problemas prioritários são alvo de análise da causa-raiz. Na quinta etapa, com base na literatura e nos interesses dos principais decisores da organização, são selecionadas e aplicadas as ferramentas *Lean* mais adequadas. A última etapa consiste numa análise dos resultados obtidos e verificação do sucesso ou insucesso da implementação das ferramentas *Lean*. Em caso de insucesso, deverá ser elaborada uma reavaliação do setor crítico e considerada a aplicação de outro tipo de ferramentas. Caso contrário, o objetivo no setor passará pela standardização, sustentação e disseminação da cultura *Lean*, iniciando-se um novo ciclo do modelo.

Através da aplicação do modelo nas suas 6 etapas na ELO–Automotive, uma PME produtora de componentes para o mercado automóvel, contribuiu-se para a disseminação de uma cultura de melhoria contínua na organização. A melhoria contínua é uma prioridade para a gestão e possui o reconhecimento das equipas operacionais. A empresa encontra-se familiarizada com conceitos *Lean*, com foco na melhoria contínua dos processos. Vários desafios têm surgindo e a abordagem adotada tem sido de uma implementação do *Lean* incremental, quer seja por etapas ou setores. O modelo estruturado proposto surge assim, como uma possibilidade e de fácil uso para este cenário.

A caracterização do sistema com o apoio de colaboradores da empresa e o VSM permitiram identificar o setor crítico (Enrolamento Mestra). Após recolha de dados e análise pormenorizada do setor foram identificados os problemas que afetam a produtividade desta área fabril. Dos 44 problemas identificados, a partir da classificação na Casa da Qualidade e o Princípio de Pareto, 10 deles foram sinalizados como prioritários. Estes problemas foram alvo de análise até à sua causa-raiz e propuseram-se 7 ferramentas *Lean* consideradas adequadas para as eliminar. Em virtude da aplicação das ferramentas, de forma individual ou conjunta, é possível solucionar a causa concreta dos problemas prioritários em análise e atuar indiretamente em outros, levando a uma notória redução dos desperdícios do setor. As melhorias alcançadas devem ser mantidas a longo prazo e abrangidas a outros setores com problemas semelhantes. Esta estabilidade é conseguida através de uma implementação faseada, priorizando os setores mais críticos.

A principal vantagem do modelo estruturado proposto consiste na sua fácil compreensão por todos os envolvidos na sua implementação. Através de ferramentas de reduzida complexidade e exigência técnica, permite de uma forma prática contribuir para a eficiência do processo produtivo. Problemas que causam diversos constrangimentos são

eliminados e contribui-se para a consciencialização da necessidade de mudança. O modelo estimula a que a organização dissemine uma filosofia de melhoria contínua, começando pelos setores mais relevantes, onde a consequente diminuição dos desperdícios permitirá obter vantagens competitivas face aos concorrentes.

Ao longo do estudo, constatou-se a importância da participação ativa e constante *feedback* de toda a organização na implementação do modelo, passando por operadores, encarregados de produção e chefias. O constante contacto e comunicação com os operadores teve um contributo essencial na identificação dos problemas.

Os objetivos de aplicação prática do modelo estruturado proposto não foram totalmente atingidos. Este facto deveu-se à dificuldade em executar e implementar a totalidade das ferramentas *Lean* propostas num horizonte temporal limitado. A eficácia das ações de melhoria da Etapa 5 só é visível numa fase mais avançada, encontrando-se ainda num estágio inicial. A necessidade de sensibilizar os responsáveis e alocar recursos para implementação das ferramentas afetaram negativamente os resultados obtidos. A ausência de procedimentos standardizados, a resistência à mudança, bem como a variabilidade e instabilidade produtiva existente na unidade industrial do estudo de caso, decorrentes do sistema produtivo em vigor, foram outros obstáculos encontrados. Verificou-se também falta de receptividade às ações de melhoria propostas e ausência de partilha de informação correta por parte dos operadores. A dificuldade em filtrar informações e em fazer compreender que algumas alterações seriam benéficas para todos os intervenientes no processo manifestou-se em todas as fases de aplicação do modelo.

6.2 Trabalhos futuros

As ferramentas *Lean* implementadas no setor crítico (Enrolamentos Mestra) tiveram resultados visíveis na resolução de diversos problemas identificados. Destaca-se a aplicação do 5S, que provocou melhorias na arrumação, organização e limpeza do espaço. Contudo, devido ao tempo limite imposto e exigência técnica de algumas das ferramentas, não foi possível aplicar todas as iniciativas planeadas. Desta forma, para dar continuidade ao trabalho efetuado, propõe-se a aplicação das ferramentas e análise dos resultados, através do sugerido para as Etapas 5 e 6 do modelo estruturado. Será possível verificar se os resultados obtidos correspondem ao esperado e analisar-se a evolução dos problemas identificados na presente dissertação. Para tal, sugere-se a formação de uma equipa de melhoria contínua, que acompanhe a implementação das ferramentas, garantindo a

continuidade do projeto e que avalie os resultados obtidos. Terminada esta fase as melhorias atingidas deverão ser sustentadas e standardizadas. Poderá ser então iniciado um novo ciclo do modelo estruturado proposto, alargando as áreas de atuação e contribuindo para a eliminação de desperdícios na organização. Para além disso, a extensão do *Lean* a outros setores permite a disseminação de uma cultura de melhoria contínua na organização.

Para trabalhos futuros, propõe-se a aplicação do modelo estruturado proposto em estudos de caso noutros tipos de organizações, especialmente em PME's que estejam numa fase inicial da implementação do *Lean*. Sugere-se que se procure ultrapassar as desvantagens do modelo, apontadas no subcapítulo 6.7 Discussão final e outras que possam não ter sido identificadas. A inclusão de uma análise financeira será relevante para aplicação do modelo. O investimento inerente à aplicação de cada uma das melhorias propostas não foi considerado, o que para uma situação real, como é a organização do estudo de caso, limita a capacidade de resposta aos problemas. Portanto, recomenda-se uma avaliação do investimento necessário para aplicação das ferramentas *Lean*, através de uma análise custo-benefício. O modelo estruturado proposto é direcionado à implementação do *Lean* em PME's, considerando algumas das especificidades do sistema produtivo existente neste tipo de organizações. Não obstante, diversas barreiras e dificuldades na abordagem ao *Lean* em PME's não foram consideradas e devem ser incorporadas no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Bai, P. Dallasega, G. Orzes, e J. Sarkis, «Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective», *International Journal of Production Economics*, vol. 229, p. 107776, nov. 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107776.
- [2] L. Švecová e K. Šulc, «Methods and tools of lean manufacturing and their applicability in metallurgy», apresentado na METAL 2017 - 26th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings, 2017, pp. 2315–2320.
- [3] N. Kaitwade, «COVID-19 shatters global automotive industry; sales of metal powder take a nosedive amid wavering demand», *Metal Powder Report*, vol. 76, n.º 3, pp. 137–139, mai. 2021, doi: 10.1016/j.mprp.2020.06.059.
- [4] M. Holweg, «The genealogy of lean production», *Journal of Operations Management*, vol. 25, n.º 2, pp. 420–437, mar. 2007, doi: 10.1016/j.jom.2006.04.001.
- [5] J. P. Womack, D. T. Jones, e D. Roos, *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production - Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. Simon and Schuster, 1990.
- [6] S. Gupta e S. Jain, «A literature review of lean manufacturing», *International Journal of Management Science and Engineering Management*, vol. 8, nov. 2013, doi: 10.1080/17509653.2013.825074.
- [7] I. S. Mohammad e C. F. Oduoza, «Lean-excellence business management for manufacturing SMEs focusing on KRI», *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 69, n.º 3, pp. 519–539, jan. 2019, doi: 10.1108/IJPPM-11-2018-0389.
- [8] Ł. Dekier, «The Origins and Evolution of Lean Management System», *JOURNAL OF INTERNATIONAL STUDIES*, vol. 5, pp. 46–51, mai. 2012, doi: 10.14254/2071-8330.2012/5-1/6.
- [9] J. K. Liker, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, 1ª Edição. McGraw-Hill Education, 2004.
- [10] J. Liker e J. Morgan, «The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development», *Academy of Management Perspectives*, vol. 20, mai. 2006, doi: 10.5465/AMP.2006.20591002.

- [11] J. Womack e D. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, vol. 48. Journal of the Operational Research Society, 1996. doi: 10.1038/sj.jors.2600967.
- [12] L. E. Institute, *Lean Lexicon: A Graphical Glossary for Lean Thinkers*, 5th edition. Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, 2006.
- [13] A. N. A. Wahab, M. Mukhtar, e R. Sulaiman, «A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions», *Procedia Technology*, vol. 11, pp. 1292–1298, jan. 2013, doi: 10.1016/j.protcy.2013.12.327.
- [14] K. Otsuka e N. Ben-Mazwi, «The impact of Kaizen: Assessing the intensive Kaizen training of auto-parts suppliers in South Africa», *South African Journal of Economic and Management Sciences*, vol. 25, n.º 1, Art. n.º 1, jan. 2022, doi: 10.4102/sajems.v25i1.4093.
- [15] J. A. Farris, E. M. Van Aken, T. L. Doolen, e J. Worley, «Learning From Less Successful Kaizen Events: A Case Study», *Engineering Management Journal*, vol. 20, n.º 3, pp. 10–20, set. 2008, doi: 10.1080/10429247.2008.11431772.
- [16] S. T. Dziuba e M. Ingaldi, «The use of suggestion system in polish enterprises from the metallurgical industry», apresentado na METAL 2019, 2019, pp. 1905–1910. doi: 10.37904/metal.2019.978.
- [17] A. Elkhairi, F. Fedouaki, e S. E. Alami, «Barriers and Critical Success Factors for Implementing Lean Manufacturing in SMEs», *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, n.º 13, pp. 565–570, jan. 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.303.
- [18] S. Kubica, P. Besta, A. Sikorová, e M. Mynář, «The principles of lean manufacturing in metallurgical processes», apresentado na METAL 2015 - 24th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings, 2015, pp. 1994–1999.
- [19] M. A. N. Poling Sheila R., *Mapping the Total Value Stream: A Comprehensive Guide for Production and Transactional Processes*. New York: Productivity Press, 2008. doi: 10.4324/9780429294631.
- [20] S. Tyagi, A. Choudhary, X. Cai, e K. Yang, «Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process», *International Journal of Production Economics*, vol. 160, pp. 202–212, fev. 2015, doi: 10.1016/j.ijpe.2014.11.002.
- [21] E. Mohamad *et al.*, «An initiative to implement lean manufacturing using value stream mapping in textile manufacturing company», apresentado na 4th Design Engineering Systems Division JSME Conference [No.14-27] Japan Society of Mechanical Engineers, Tokushima, Japan, set. 2014. doi: 10.13140/2.1.4186.2402.

- [22] A.-A. Karam, M. Liviu, V. Cristina, e H. Radu, «The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project», *Procedia Manufacturing*, vol. 22, pp. 886–892, jan. 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.125.
- [23] S. Shingo, *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*, 1st edition. Stamford, Conn: Routledge, 1985.
- [24] R. McIntosh, S. Culley, G. Gest, T. Mileham, e G. Owen, «An assessment of the role of design in the improvement of changeover performance», *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 16, n.º 9, pp. 5–22, jan. 1996, doi: 10.1108/01443579610125552.
- [25] M. Jiménez, L. Romero, J. Fernández, M. M. Espinosa, e M. Domínguez, «Extension of the Lean 5S methodology to 6S with an additional layer to ensure occupational safety and health levels», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, n.º 14, 2019, doi: 10.3390/su11143827.
- [26] J. S. Randhawa e I. S. Ahuja, «5S implementation methodologies: Literature review and directions», *International Journal of Productivity and Quality Management*, vol. 20, n.º 1, pp. 48–74, 2017, doi: 10.1504/IJPM.2017.080692.
- [27] C. Veres (Harea), L. Marian, S. Moica, e K. Al-Akel, «Case study concerning 5S method impact in an automotive company», *Procedia Manufacturing*, vol. 22, pp. 900–905, jan. 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.127.
- [28] A. Tezel, L. Koskela, e P. Tzortzopoulos, «Visual management in production management: A literature synthesis», *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 27, n.º 6, pp. 766–799, 2016, doi: 10.1108/JMTM-08-2015-0071.
- [29] K. Knop e R. Ulewicz, «Analysis of the possibility of using the kamishibai audit in the area of quality inspection process implementation», *Organizacja i Zarządzanie: kwartalnik naukowy*, vol. nr 3, 2018, doi: 10.29119/1899-6116.2018.43.3.
- [30] I. Antonioli, P. Guariente, T. Pereira, L. P. Ferreira, e F. J. G. Silva, «Standardization and optimization of an automotive components production line», *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1120–1127, jan. 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.173.
- [31] V. C. Machado e U. Leitner, «Lean tools and lean transformation process in health care», *International Journal of Management Science and Engineering Management*, vol. 5, n.º 5, pp. 383–392, jan. 2010, doi: 10.1080/17509653.2010.10671129.
- [32] J. Dalton, «Gemba Walks», em *Great Big Agile: An OS for Agile Leaders*, J. Dalton, Ed., Berkeley, CA: Apress, 2019, pp. 173–174. doi: 10.1007/978-1-4842-4206-3_31.
- [33] T. C. Ng, T. X. Yang, M. C. Yew, L. H. Saw, M. K. Yew, e K. P. Chen, «A review on lean maintenance through various implementations of total productive maintenance models»,

International Journal of Advanced and Applied Sciences, vol. 4, n.º 9, pp. 174–179, set. 2017, doi: 10.21833/ijaas.2017.09.025.

[34] K. Senderská, A. Mareš, e Š. Václav, «Spaghetti diagram application for workers' movement analysis», *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, vol. 79, n.º 1, pp. 139–150, jan. 2017.

[35] A. L. D. Silva, «Critical analysis of layout concepts: functional layout, cell layout, product layout, modular layout, fractal layout, small factory layout», em *XVI International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, São Carlos, SP, Brazil, 2010.

[36] P. Sharma e S. Singhal, «Design and evaluation of layout alternatives to enhance the performance of industry», *OPSEARCH*, vol. 53, n.º 4, pp. 741–760, dez. 2016, doi: 10.1007/s12597-016-0257-6.

[37] V. Naranje, P. V. Reddy, e B. K. Sharma, «Optimization of Factory Layout Design Using Simulation Tool», em *2019 IEEE 6th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, abr. 2019, pp. 193–197. doi: 10.1109/IEA.2019.8715162.

[38] A. Card, «The problem with "5 whys"», *BMJ quality & safety*, vol. 26, set. 2016, doi: 10.1136/bmjqs-2016-005849.

[39] S. J. Benjamin, M. S. Marathamuthu, e U. Murugaiah, «The use of 5-WHYs technique to eliminate OEE's speed loss in a manufacturing firm», *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 21, n.º 4, pp. 419–435, jan. 2015, doi: 10.1108/JQME-09-2013-0062.

[40] H. Brian Hwang e C. Teo, «Translating customers' voices into operations requirements - A QFD application in higher education», *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 18, n.º 2, pp. 195–226, jan. 2001, doi: 10.1108/02656710110379075.

[41] L. Na, S. Xiaofei, W. Yang, e Z. Ming, «Decision Making Model Based on QFD Method for Power Utility Service Improvement», *Systems Engineering Procedia*, vol. 4, pp. 243–251, jan. 2012, doi: 10.1016/j.sepro.2011.11.072.

[42] D. J. Delgado-Hernandez, K. E. Bampton, e E. Aspinwall, «Quality function deployment in construction», *Construction Management and Economics*, vol. 25, n.º 6, pp. 597–609, jun. 2007, doi: 10.1080/01446190601139917.

[43] J. A. Carnevalli e P. C. Miguel, «Review, analysis and classification of the literature on QFD—Types of research, difficulties and benefits», *International Journal of Production Economics*, vol. 114, n.º 2, pp. 737–754, ago. 2008, doi: 10.1016/j.ijpe.2008.03.006.

[44] C.-Y. Tsai, C.-C. Lo, e A. C. Chang, «Using fuzzy qfd to enhance manufacturing strategic planning», *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, n.º 1, pp. 33–41, 2003, doi: 10.1080/10170660309509222.

- [45] P. A. Cauchick Miguel e J. Celso Sobreiro Dias, «A proposed framework for combining ISO 9001 quality system and quality function deployment», *The TQM Journal*, vol. 21, n.º 6, pp. 589–606, jan. 2009, doi: 10.1108/17542730910995864.
- [46] A. Grosfeld-Nir, B. Ronen, e N. Kozlovsky, «The Pareto managerial principle: when does it apply?», *International Journal of Production Research*, vol. 45, n.º 10, pp. 2317–2325, mai. 2007, doi: 10.1080/00207540600818203.
- [47] H. Al-Samarraie e S. Hurmuzan, «A review of brainstorming techniques in higher education», *Thinking Skills and Creativity*, vol. 27, pp. 78–91, mar. 2018, doi: 10.1016/j.tsc.2017.12.002.
- [48] M. Litcanu, O. Prostean, C. Oros, e A. V. Mnerie, «Brain-Writing Vs. Brainstorming Case Study For Power Engineering Education», *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 191, pp. 387–390, jun. 2015, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.04.452.
- [49] A. Bharadwaj, «Evolution of the Global Automobile Industry», em *Environmental Regulations and Innovation in Advanced Automobile Technologies: Perspectives from Germany, India, China and Brazil*, A. Bharadwaj, Ed., em SpringerBriefs in Economics. , Singapore: Springer, 2018, pp. 1–9. doi: 10.1007/978-981-10-6952-9_1.
- [50] A. Chiarini, C. Baccarani, e V. Mascherpa, «Lean production, Toyota Production System and Kaizen philosophy: A conceptual analysis from the perspective of Zen Buddhism», *The TQM Journal*, vol. 30, n.º 4, pp. 425–438, jan. 2018, doi: 10.1108/TQM-12-2017-0178.
- [51] T. Sturgeon e R. Florida, «Globalization and Jobs in the Automotive Industry», 2000.
- [52] J. Furman e T. Malysa, «The Use of Lean Manufacturing (lm) Tools in the Field of Production Organization in the Metallurgical Industry», *Metalurgija*, vol. 60, n.º 3–4, Art. n.º 3–4, jul. 2021.
- [53] M. L. de C. C. de O. e Sousa, «Uma perspectiva institucional do desenvolvimento: caso da indústria automóvel em Portugal (1960-1990)», Instituto Superior de Economia e Gestão, 2005. Acedido: 14 de junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/3688>
- [54] «Revista PortugalGlobal». Acedido: 4 de abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.portugalglobal.pt/PT/RevistaPortugalGlobal/2016/Paginas/RevistaPortugalGlobal-Ano2016.aspx>
- [55] «Portal do INE». Acedido: 23 de abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0006589&xlang=pt&contexto=bd&selTab=tab2

- [56] «Direção-Geral das Atividades Económicas». Acedido: 14 de junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.dgae.gov.pt/servicos/politica-empresarial/setores-industriais/industria-automovel.aspx>
- [57] S. Dhanale e A. Pillay, «Design and Analysis of Leaf Spring Suspension System». Rochester, NY, 14 de julho de 2019. doi: 10.2139/ssrn.3419639.
- [58] T. Aized, M. Ahmad, M. Jamal, A. Mahmood, S. U. U. Rehman, e J. Srail, «Automotive leaf spring design and manufacturing process improvement using failure mode and effects analysis (FMEA)», *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 12, p. 184797902094243, jul. 2020, doi: 10.1177/1847979020942438.
- [59] D. Gök e A. Baltaci, «Design and Fatigue Life Analysis of Air Suspension Z Type Leaf Springs Used in Heavy Commercial Vehicle», *Journal of Polytechnic*, vol. 26, nov. 2021, doi: 10.2339/politeknik.822648.
- [60] «ELO - Fábrica Nacional de Material Automóvel, S.A. in Setúbal | Online-store ELO - Fábrica Nacional de Material Automóvel, S.A. Setúbal (Portugal)». Acedido: 21 de março de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://1226-pt.all.biz/>
- [61] A. Karim e K. Arif-Uz-Zaman, «A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations», *Business Process Management Journal*, vol. 19, n.º 1, pp. 169–196, jan. 2013, doi: 10.1108/14637151311294912.
- [62] N. H. A. Halim, A. Jaffar, Y. Noriah, e A. A. Naufal, «Case Study: The Methodology of Lean Manufacturing Implementation», *Applied Mechanics and Materials*, vol. 393, pp. 3–8, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.393.3.
- [63] M. Bhuvanesh Kumar e R. Parameshwaran, «Fuzzy integrated QFD, FMEA framework for the selection of lean tools in a manufacturing organisation», *Production Planning & Control*, vol. 29, n.º 5, pp. 403–417, abr. 2018, doi: 10.1080/09537287.2018.1434253.
- [64] H. Reda e A. Dvivedi, «Decision-making on the selection of lean tools using fuzzy QFD and FMEA approach in the manufacturing industry», *Expert Systems with Applications*, vol. 192, p. 116416, abr. 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2021.116416.
- [65] S. Dewi, D. Utama, e R. N. R. Rohman, «Minimize waste on production process using lean concept», *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1764, p. 012201, fev. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1764/1/012201.
- [66] D. A. de Jesus Pacheco, D. Møller Clausen, e J. Bumann, «A multi-method approach for reducing operational wastes in distribution warehouses», *International Journal of Production Economics*, vol. 256, n.º 108705, fev. 2023, doi: 10.1016/j.ijpe.2022.108705.

- [67] J. Rebecca, I. M. A. Anthara, M. Silaban, e M. R. Situmorang, «Product Quality Improvement by Using the Waste Assessment Model and Kipling Method», *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 879, n.º 1, p. 012172, jul. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/879/1/012172.
- [68] I. A. Rawabdeh, «Waste elimination using quality function deployment», *International Journal of Services and Operations Management*, vol. 10, n.º 2, pp. 216–238, jan. 2011, doi: 10.1504/IJSOM.2011.042518.
- [69] A. Thomas, R. Barton, e C. Chuke-Okafor, «Applying lean six sigma in a small engineering company – a model for change», *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 20, n.º 1, pp. 113–129, jan. 2009, doi: 10.1108/17410380910925433.
- [70] M. von Rosing, N. Kemp, M. Hove, e J. W. Ross, «Process Tagging—A Process Classification and Categorization Concept», em *The Complete Business Process Handbook*, M. von Rosing, A.-W. Scheer, e H. von Scheel, Eds., Boston: Morgan Kaufmann, 2015, pp. 123–171. doi: 10.1016/B978-0-12-799959-3.00008-2.
- [71] A. Mendes, T. M. Lima, e P. D. Gaspar, «Lean Tools Selector - A Decision Support System», em *2021 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*, 2021, pp. 45–50. doi: 10.1109/DASA53625.2021.9682227.
- [72] C. Y. Heo, B. Kim, K. Park, e R. M. Back, «A comparison of Best-Worst Scaling and Likert Scale methods on peer-to-peer accommodation attributes», *Journal of Business Research*, vol. 148, pp. 368–377, set. 2022, doi: 10.1016/j.jbusres.2022.04.064.
- [73] «Plant simulation software | Siemens Software», Siemens Digital Industries Software. Acedido: 21 de maio de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/tecnomatix/products/plant-simulation-software/>
- [74] M. J. Do Rêgo Ferreira Lima e M. E. C. Todaro, «A methodological approach for Kaizen events in assembly cells», em *Proceedings of the 2017 Industrial and Systems Engineering Conference*, 2017, pp. 1829–1834.

APÊNDICES E ANEXOS

Apêndice A – VSM do estado atual

VSM do estado atual

Samuel Barroso

Controle da Produção

MRP

Plano de produção - Semanalmente

Encarregado de produção

Diariamente

Semanalmente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

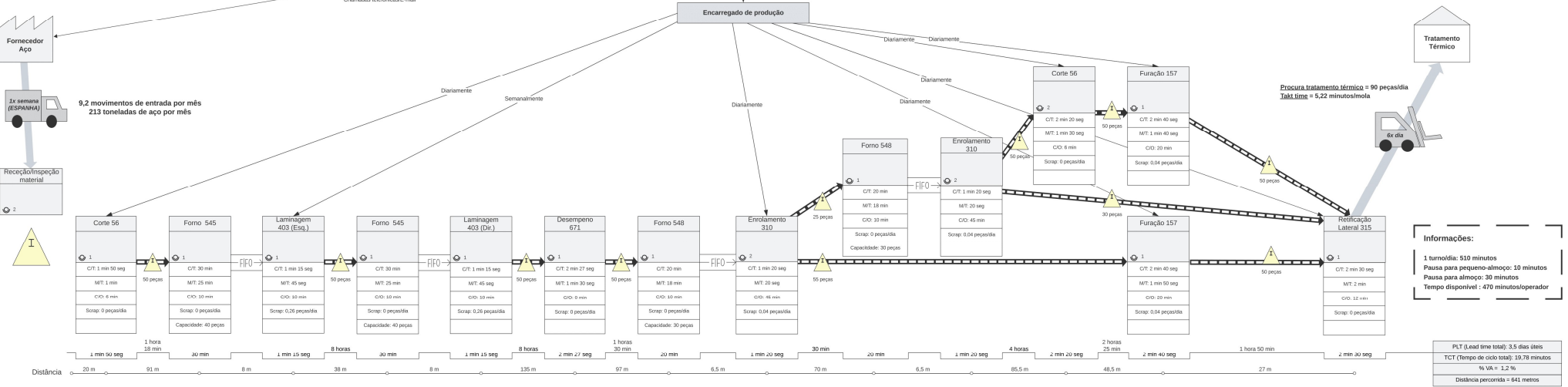
Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente

Diariamente



Informações:
 1 turnodia: 510 minutos
 Pausa para pequeno-almoço: 10 minutos
 Pausa para almoço: 30 minutos
 Tempo disponível: 470 minutos/operador

PLT (Lead time total): 3,5 dias úteis
 TCT (Tempo de ciclo total): 19,78 minutos
 % VA = 2,2 %
 Distância percorrida = 641 metros

Apêndice B – Questionário operadores



Questionário – Setor de Enrolamento da Lâmina Mestra

O seguinte questionário tem como intuito identificar os principais problemas e constrangimentos decorrentes da realização das tarefas necessárias do seu posto de trabalho.

1. Dados Pessoais (indique com um “X”)

Idade (anos): 18-25 26-35 36-45 46-55 >56

Sexo: Masculino Feminino

Tempo na empresa (anos): 0-1 1-3 3-5 >5

Tempo no posto de trabalho (anos): 0-1 1-3 3-5 >5

2. Formação (indique com um “X”)

Considera que teve a formação/treino necessários para realizar as funções que desempenha no posto de trabalho?

Sim Não

3. Numa escala de 1 a 5 avalie a sua satisfação em relação a cada uma das categorias (indique com um “X”):

(legenda: 5 = extremamente satisfeito; 1 = totalmente insatisfeito)

Categoria	Pontuação				
	1	2	3	4	5
Ferramentas e equipamentos utilizados					
Procedimentos de trabalho fornecidos e aplicados					
Qualidade do material utilizado (lâminas de aço)					
Local de trabalho/organização do espaço					
Formação e qualificação para as tarefas que desempenha					
Ritmo de trabalho e exigência das tarefas que desempenha					
Monitorização e controlo dos processos (Supervisão/Qualidade)					

4. Identificação de problemas (resposta curta)

Nesta secção é-lhe requerido que identifique os principais problemas que limitam o normal desempenho das suas funções no decorrer das tarefas que efetua diariamente no setor de enrolamento da Lâmina Mestra. Responda de **forma genérica e sucinta**, em função da importância do problema (1º = mais importante):

1º _____

2º _____


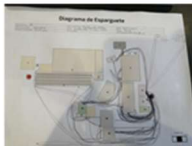

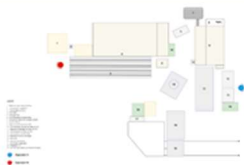


3º _____

4º _____

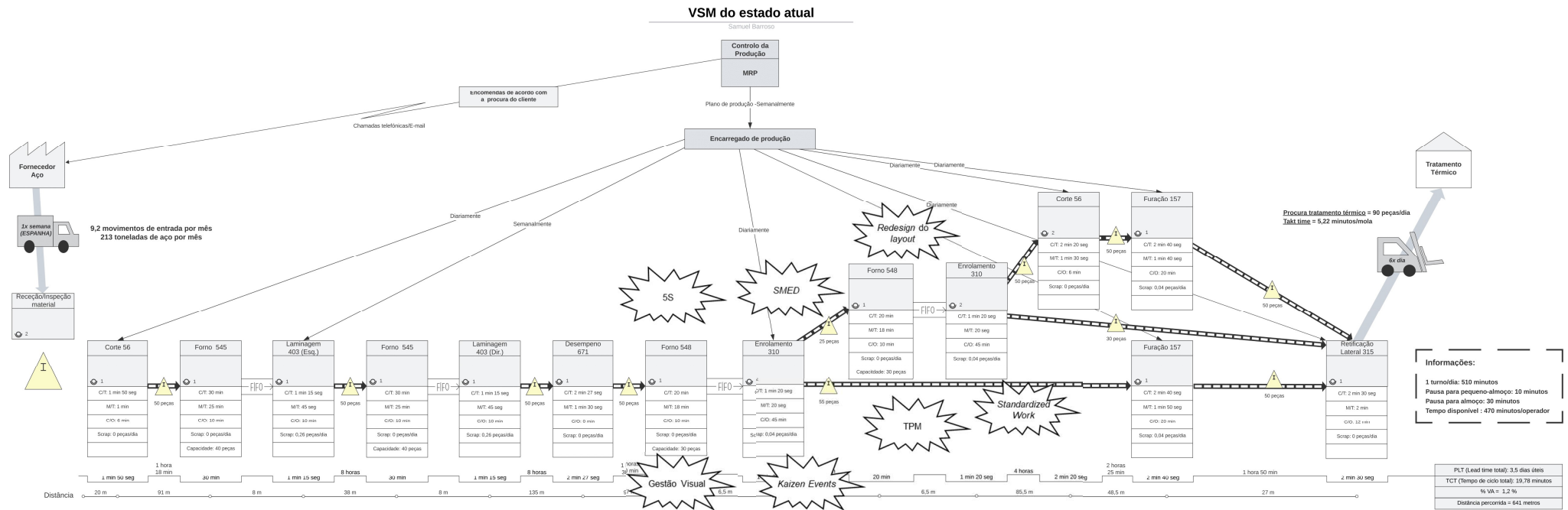
5º _____

Obrigado pela sua participação!

Apêndice C – Registo de problemas identificados (exemplos)

Nº	Operação/Área	Problema	Descrição	Consequências	Fotografias/Representação do problema
1	Transferência de documentos	Manuseio e falta de rigor no preenchimento de documentação	Atividade é manual e pouco rigorosa. Além disso, cada operador preenche alguns dados informativos com o software adequado (num pte da descrição de competências técnicas), digitando e analisando as informações que estão inseridas no sistema de trabalho. Verificar também se a quantidade máxima de documentação se preenche, bem como falta de um formato padronizado e de formação adequada	Transporte: Excesso de transporte das folhas e/ou extra local para preencher alguma informação dentro; Montagem: Os operadores precisam de deixar as peças e/ou alguns componentes; Excesso: Faltas de um preenchimento de informações relevantes que se evita a mal de trabalho, bem como a perda de documentos de alta importância de processo; Defeitos: Possibilidade de erro em dados; Potencial Humano: Desprezimento da potencialidade humana para inserir informações	
8	Costa	Elevado número de erros de produção	Verificar que os operadores possuem tempo suficiente no normal desempenho das suas atividades	Transporte: Os operadores precisam de deixar as peças distantes em os materiais necessários, verificando se uma quantidade de transporte; Montagem: Os operadores precisam de deixar as peças e/ou componentes para fazer materiais de montar (antes de montar); Excesso: As atividades distantes produzidas na montagem e/ou processos não são também suficientes; Dependência de Potencial Humano: Os operadores gastam um tempo significativo a deslocar-se, reduzindo a quantidade de tempo disponível para trabalhar em tarefas mais produtivas de maior valor agregado; Ergonomia: O aumento da distância produzida aumenta o risco de fadiga, lesões musculares e lesões por repetição; Segurança: Quanto maior a distância percorrida, maior a exposição a riscos, como quedas, colisões ou acidentes de trabalho em áreas pressurizadas ou com objetos em movimento	
12	Sala de trabalho	Local de trabalho desorganizado e/ou	A limpeza do local de trabalho é feita uma vez por semana e os operadores não têm acesso a limpeza de limpeza de rotina	Montagem: O local de trabalho sujo e desorganizado, afetando a montagem e/ou a segurança; Excesso: Os operadores precisam gastar tempo extra para limpar o ambiente local de trabalho antes de tratar as tarefas, levando a um aumento do tempo de espera; Defeitos: A sujeira afeta a identificação de falhas e/ou peças de equipamento; Dependência de Potencial Humano: A falta de limpeza de rotina produzida em um ambiente de trabalho desorganizado e pouco motivador; Ergonomia: O local de trabalho sujo e desorganizado, torna mais difícil manter um postura adequada, localizar ferramentas ou equipamentos necessários (parafusos e/ou) e em um ambiente de trabalho (sujeira e desorganizado); Segurança: A sujeira ou materiais no chão afetam a segurança de trabalho aumentando o risco de acidentes (ex. quedas). A falta de limpeza torna o local inseguro, afetando a segurança da instalação e o desempenho da máquina (desempenho)	
15	Sala de trabalho	Layout de trabalho desorganizado e/ou pouco funcional	O layout de sala de trabalho é pouco funcional, não é adequado para o tipo de trabalho que é realizado e não permite a realização de atividades necessárias (movimento de materiais, acesso a equipamentos)	Transporte: Processos distantes e transporte elevado de materiais, aumentando o tempo de espera; Montagem: O atual layout de sala de trabalho não permite a realização de algumas atividades; Excesso: Tempo a mais de trabalho realizado no layout, produzindo gargalos e congestionamentos no local de trabalho; Dependência de Potencial Humano: O layout inadequado aumenta a realização de etapas adicionais; Defeitos: O layout pouco funcional aumenta a probabilidade de erros de qualidade; Dependência de Potencial Humano: A dificuldade de acesso devido ao layout pouco funcional, afeta a produtividade, motivando a realização de trabalho desorganizado; Ergonomia: O layout inadequado expõe os operadores a riscos de lesões musculares, fadiga e stress físico; Segurança: O layout pouco funcional é um risco para a segurança do local de trabalho, aumentando o risco de acidentes, quedas ou outros incidentes de segurança	
20	Buscar ferramentas e peças de reposição	Excesso de utilização de ferramentas e peças de reposição	As ferramentas de trabalho são utilizadas em todo o local de trabalho e o local onde se encontram é desconhecido, o que provoca, normalmente, a desorganização das ferramentas utilizadas	Transporte: Os operadores precisam transportar as ferramentas de uma local para outro, para a realização de trabalho; Montagem: Os operadores precisam de realizar os materiais adicionais para a realização de montagem; Excesso: Os operadores precisam de parar a atividade para buscar as ferramentas necessárias devido à falta de organização e/ou acesso; Subdesempenho: Como os operadores não conseguem encontrar rapidamente as ferramentas adequadas, representa desperdício de tempo de setup; Dependência de Potencial Humano: A falta de organização afeta a produtividade, motivando a realização de trabalho desorganizado; Ergonomia: Os operadores precisam adotar posturas desfavoráveis, com movimentos repetitivos e lidar com ferramentas e desorganizados, resultando em fadiga e desconforto	
32	Transporte e montagem de peças	Encostamento de peças no transportador	A variação de posição das peças e/ou o encostamento das peças, especialmente na entrada final do transportador, onde se produz o maior número de problemas	Transporte: O encostamento das peças no transportador resulta em um tempo de transporte causando atrasos no fluxo de material; Defeitos: O encostamento das peças pode levar a problemas de qualidade. Se as peças ficam presas no transportador, pode haver acumulação de material no local, resultando em erros de qualidade; Montagem: O encostamento das peças pode levar a problemas de qualidade e/ou a necessidade de parar para a resolução do problema; Excesso: O encostamento das peças causa tempo de espera adicional, pela necessidade de esperar a peça da linha (por ser uma tarefa crítica para a produção); Defeitos: O encostamento das peças causa defeitos, aumentando a probabilidade de erros; Dependência de Potencial Humano: Os operadores precisam lidar sempre com situações para resolver o problema, o que resulta em dependência de tempo e produtividade que podem ser afetadas por a produtividade dos operadores; Segurança: O encostamento das peças afeta a segurança no local de trabalho. Os operadores podem precisar de realizar manobras arriscadas para retirar as peças encostadas, aumentando o risco de acidentes e danos ao equipamento	

Apêndice D – VSM do estado atual (com *kaizen bursts*)



Apêndice E – Listagem do Estágio 0 do SMED

Nº Op.	Operador A	t (seg)		t (seg)		Operador B	Nº Op.
1	Organizar/ler fichas de produção e as fichas técnicas	E	90				
2	Desligar equipamentos (Verificação)	I	10	185	E	Abastecer transportador com as lâminas	1
3	Organizar/ler fichas de produção e as fichas técnicas	E	17	6	E	Deslocar-se para a traseira da máquina 310	2
4	Alteração de configurações no painel tátil da máquina 310	I	40	11	E	Retirar pontas de corte (Inclui pegar e pousar ferramenta)	3
5	Buscar e calçar luvas	I	5	5	E	Deslocar-se até ao controlador do robô	4
6	Deslocar-se até à mesa de alimentação da máquina	I	5	7	E	Ler e verificar ficha de produção e ficha técnica	5
7	Desapertar os 4 parafusos da espera da mesa de alimentação (superior) - Inclui pegar em chave		17	8	I	Deslocar-se para a máquina 310	6
8	Ajustar posição da mesa de alimentação (superior)	I	18	35	I	Buscar e organizar ferramentas	7
9	Apertar os 4 parafusos da mesa de alimentação - Inclui pousar chave	I	17	2	I	Descalçar luva direita	8
10	Retirar e arrumar suporte da mesa de alimentação	I	14	18	I	Organizar ferramentas	9
11	Desapertar os 2 parafusos da mesa de alimentação (inferior) - Inclui pegar em chave	I	21	3	I	Calçar luva direita	10
12	Ajustar posição da mesa de alimentação (inferior)	I	40	57	I	Desapertar e retirar bloco de suporte 50/60 - Inclui pegar em chave	11
13	Apertar os 2 parafusos da mesa de alimentação (inferior) - Inclui pousar chave	I	20	6	I	Transportar bloco de suporte 50/60 até à zona dos controladores	12
14	Abrir porta de acesso lateral à máquina	I	3	5	E	Verificar dimensões do bloco de suporte da próxima OF	13
15	Desapertar placa de pressão - Inclui pegar e pousar chave	I	36	7	I	Transportar peça de encosto 50/60 até à bancada de ferramentas	14
16	Transportar placa de pressão até à bancada de ferramentas	I	6	3	I	Arrumar peça de encosto 50/60	15
17	Descalçar e pousar luvas	I	3	10	I	Pegar e transportar peça de encosto 60/70 até à máquina	16
18	Trocar calcador para rolo - Inclui pegar e pousar chave	I	71	31	I	Montar peça de encosto 60/70	17
19	Montagem grampo 100 na porta-grampo 3 - Inclui pegar e pousar chave	E	37	18	I	Desapertar perno do cavilhão - Inclui buscar e pousar chave	18
20	Organizar lâminas no transportador	I	27	2	I	Descalçar luva direita	19
21	Descalçar e pousar luvas	I	3	16	I	Premir comandos manuais da máquina (mover cavilhão)	20
22	Transportar rolo até à mesa de alimentação	I	6	10	I	Retirar e pousar o cavilhão 47,5	21
23	Posicionar rolo na máquina	I	5	5	I	Procurar e buscar chave	22
24	Descalçar e pousar luvas	I	3	17	N/A	Espera	23
25	Apertar rolo - Inclui pegar e pousar chave	I	37	24	I	Buscar e organizar ferramentas	24
26	Pegar e calçar luvas	I	7	11	I	Premir comandos manuais da máquina (mover arco de enrolamento)	25
27	Apertos e verificação da mesa de alimentação - Inclui pegar em chave	I	21	24	N/A	Espera	26
28	Desapertar parafusos da porta-grampo 2 + grampo 80	I	10	17	I	Premir comandos manuais da máquina (mover arco de enrolamento)	27
29	Espera (máquina em operação manual)	N/A	15	3	I	Calçar luva direita	28
30	Desapertar parafusos da porta-grampo 2 + grampo 80	I	29	13	I	Apertos e verificação	29
31	Deslocar-se até à bancada de ferramentas	I	6	3	I	Descalçar luvas	30
32	Apertar grampo 100 na porta-grampo 3 - Inclui pousar chave	E	21	28	I	Premir comandos manuais da máquina (mover cilindro)	31
33	Transportar e pousar porta-grampo 3 + grampo 100	I	6	7	I	Buscar taco de madeira	32
34	Espera (Op. B a retirar porta-grampo 2 + grampo 80)	N/A	56	9	I	Colocar tacos de madeira debaixo do porta-grampo	33
35	Retirar porta-grampo 2 + grampo 80	I	7	23	I	Premir comandos manuais da máquina (mover cilindro)	34
36	Entregar conjunto da porta-grampo 3 + grampo 100 ao Op. B	I	4	3	I	Calçar luvas	35
37	Transportar e arrumar porta-grampo 2 + grampo 80 na bancada de ferramentas	I	10	3	I	Retirar porta-grampo 2 + grampo 80 e entregar ao Op. A	36
38	Espera	N/A	47	4	I	Retirar e arrumar taco de madeira	37
39	Deslocar-se até à zona dos controladores	I	8	4	I	Pegar na porta-grampo 2 + grampo 80 entregue pelo Op. A	38
40	Ligar e verificar sistema	I	14	19	I	Posicionar porta-grampo 2 + grampo 80	39
41	Deslocar-se até ao controlador do forno	I	9	28	I	Montar porta-grampo 2 + grampo 80 - Inclui buscar e pousar chaves	40
42	Descalçar luva direita	I	2	14	I	Buscar cavilhão 47,5	41

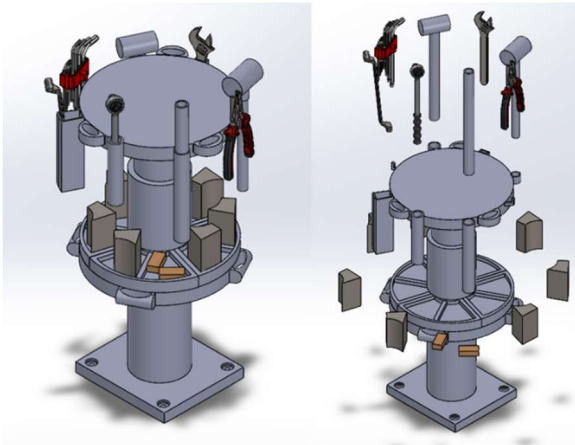
Nº Op.	Operador A	t (seg)		t (seg)		Operador B	Nº Op.
43	Configurar forno e transportador	I	56	11	I	Fechar porta de acesso lateral	42
44	Deslocar-se até ao sensor do transportador (calçar a luva direita no percurso)	I	5	9	I	Transportar o cavilhão 47,5 até aos controladores e verificar dimensões do próximo cavilhão	43
45	Ajustar sensor do robô	I	25	4	E	Buscar paquímetro	44
46	Deslocar-se até à zona da paletizadora (descalçar luvas no percurso)	I	13	34	E	Transportar cavilhão 47,5 até à ferramentaria	45
47	Buscar fita métrica	I	4	9	E	Arrumar cavilhão 47,5 no local designado	46
48	Deslocar-se até à zona da mesa de alimentação da máquina	I	13	13	E	Buscar cavilhão 60	47
49	Verificar a medida da espera do batente da mesa de alimentação com a fita métrica	I	21	6	E	Confirmar dimensões do cavilhão 60	48
50	Deslocar-se até à zona da bancada de ferramentas	E	4	25	E	Transportar cavilhão 60 (arrumar paquímetro no percurso)	49
51	Buscar padrão para a escala de centros	E	5	7	I	Abrir porta de acesso lateral	50
52	Deslocar-se até à zona da paletizadora e arrumar fita métrica	E	6	7	I	Posicionar cavilhão 60	51
53	Substituir padrão da escala de centros	E	40	4	I	Buscar ferramentas	52
54	Ajustar as medidas da escala de centros	E	10	143	I	Apertar e ajustar o cavilhão 60	53
55	Transportar e arrumar padrão da escala de centros na bancada de ferramentas	E	3	3	I	Descalçar luva direita	54
56	Deslocar-se até à mesa de alimentação da máquina	I	5	34	I	Premir comandos manuais da máquina (subir arco de enrolamento e encostar bloco de suporte)	55
57	Calçar luvas	I	3	3	I	Calçar luva direita	56
58	Espera	N/A	26	7	I	Arrumar ferramentas	57
59	Buscar barra de metal e martelo	I	10	40	I	Posicionar mesa	58
60	Retirar a mesa de enrolamento com o auxílio do Op. B	I	99	21	I	Desapertar parafusos do cilindro/cabeça de corte (Buscar e pousar chave)	59
61	Descalçar luvas	I	3	3	I	Empurrar manualmente cabeça de corte	60
62	Pousar barra de metal e martelo	I	3	25	I	Descalçar luva direita	61
63	Premir os comandos manuais da máquina	I	29	3	I	Premir comandos manuais da máquina (movimentar cabeça de corte)	62
64	Calçar luvas	I	4	20	I	Calçar luva direita	63
65	Espera	N/A	32	72	N/A	Apertar os parafusos do cilindro/cabeça de corte (Buscar chave)	64
66	Apertos e verificação	I	54	19	I	Espera	65
67	Pegar na barra de metal e martelo	I	3	4	I	Retirar e arrumar ferramentas que se encontravam no interior da máquina	66
68	Ajustar mesa de enrolamento	I	4	8	I	Fechar a porta de acesso lateral à máquina	67
69	Arrumar chaves	I	19	3	I	Arrumar as ferramentas utilizadas	68
70	Deslocar-se até ao final do transportador	I	3	28	I	Descalçar luva direita	69
71	Organizar lâmina de teste para o robô	I	41	16	I	Regular a cadência do transportador no controlador (Verificação visual)	70
72	Espera	N/A	235	5	I	Deslocar-se para a zona dos controladores do robô	71
73	Deslocar-se até aos controladores do robô	I	11	296	I	Descalçar luvas e arrumar luvas	72
74	Organizar documentação	E	32	7	I	Programação do robô - Inclui pegar e pousar no comando	73
75	Premir os comandos da mesa de alimentação da máquina 310	I	38	12	I	Movimentação lâmina teste/alteração parâmetros no painel tátil (mesa de alimentação e ferramentas da máquina)	74
76	Verificar e alterar parâmetros introduzidos (painel tátil)	I	103	11	I	Programação do robô - Inclui pegar no comando	75
77	Deslocar-se até ao controlador do forno	I	11	7	I	Arrumar comando do robô e pegar nas luvas	76
78	Premir comandos e ligar forno	I	23	8	I	Deslocar-se para a zona da paletizadora (Descalçar luva esquerda no trajeto)	77
79	Deslocar-se até ao controlador do robô	I	12	6	I	Premir botão "setup" da paletizadora para mover as correias transportadoras	78
80	Organizar OF futuras	E	80	3	I	Calçar luva esquerda	79
81	Espera	N/A	51	8	I	Recolher lâmina de teste das correias transportadoras da paletizadora	80
						Transportar lâmina de teste até ao transportador do forno	81
						Posicionar lâmina no transportador	82
						Deslocar-se para o carro com a palete	83
						Confirmar posicionamento correto da palete	84
						Empurrar carro até ao sítio destinado e fixar	85

Nº Op.	Operador A	t (seg)		t (seg)		Operador B	Nº Op.
82	Registrar as configurações utilizadas nas fichas técnicas	E	65	6	I	Deslocar-se para a zona do controlador do robô	86
83	Deslocar-se até ao controlador do forno	I	6	7	I	Verificação ficha de produção	87
84	Verificar indicadores e funcionamento	I	16	6	I	Deslocar-se para a mesa de alimentação	88
85	Deslocar-se até ao controlador do robô	I	6	43	I	Apertos e ajustes	89
86	Registrar as configurações utilizadas e organizar documentação	E	95	9	I	Arrumar ferramentas	90
87	Dar indicações e comunicar com o Op. B	I	8	5	I	Deslocar-se para a zona dos controladores	91
88	Organizar documentação e verificar OF seguinte	E	243	5	I	Consultar informações da dimensão a ser introduzida na escala de centros	92
				7	I	Deslocar-se para a zona da paletizadora (Descalçar luvas no trajeto)	93
89	Espera (aquecimento lâminas)	N/A	58	3	I	Pousar luvas	94
90	Deslocar-se até ao controlador do forno	I	4	33	I	Confirmar medida da escala de centros	95
91	Verificar as condições de funcionamento	I	22	12	I	Recolher luvas e deslocar-se para a zona dos controladores	96
92	Deslocar-se até aos controladores	I	7	20	I	Consultar informações da produção	97
93	Premir controladores e iniciar produção	I	5				

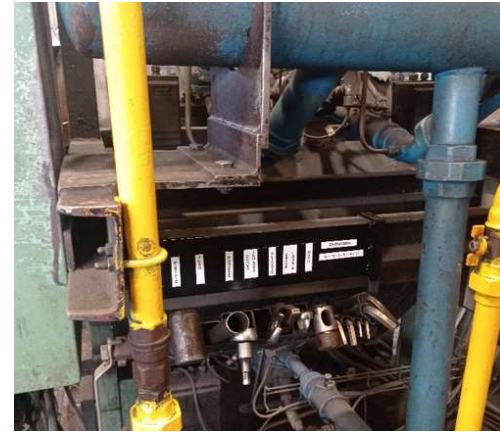
Apêndice F – Ferramentas essenciais de *setup*



Estado Anterior



Protótipo Proposto



Estado Atual

Apêndice G – Checklist 5S

Secção:
Auditor 5S:
Data:

CHECKLIST - AUDITORIA 5S	✓/✗
Separação - SEIRI	
Os espaços de arrumação não contêm materiais, ferramentas, documentos, entre outros, sem utilização ou não conformes?	
Não existem materiais pouco utilizados nas principais zonas de trabalho?	
Existem e estão a ser seguidas normas para eliminar itens/materiais desnecessários?	
Existe somente informação necessária (parâmetros, controlo de produção, instruções de trabalho, etc.)?	
Organização - SEITON	
Os itens mais utilizados encontram-se próximos dos colaboradores?	
Existem espaços devidamente identificados para a arrumação do material e ferramentas?	
As ferramentas e outros itens estão bem organizados para facilitar a sua utilização?	
A documentação é arquivada e organizada de acordo com os procedimentos definidos?	
Limpeza - SEISO	
O setor é limpo periodicamente e não há sinais de danos?	
Os espaços de arrumação são mantidos limpos e em bom estado?	
Os equipamentos e ferramentas são mantidos limpos e em boas condições para uso?	
Os resíduos/lixos são triados e colocados nos respetivos contentores bem identificados?	
Padronização – SEIKETSU	
O layout da área de trabalho encontra-se definido, com os devidos espaços de arrumação?	
Existem procedimentos para manter os três primeiros S's (separação, arrumação e limpeza)?	
São definidas <i>checklists</i> 5S, horários e rotinas?	
As responsabilidades de cada interveniente encontram-se definidas?	
Manter – SHITSUKE	
A sustentabilidade do 5S é garantida?	
Os colaboradores conhecem o 5S e a sua importância?	
Medidas corretivas e evidências do sucesso de implementação do projeto são apresentadas?	

Nota:

Caso obtenha algum "✗" o setor não será aprovado, ou seja, não se encontra em conformidade com todos os "s" da metodologia. A causa deve ser investigada e solucionada.

Anexo A – Utilização dos diferentes cavilhões

Diâmetro do cavilhão (cm)	Quantidade Total Produzida (unidades)	Percentagem da Produção (%)	Percentagem Acumulada (%)
55	29247	30,00%	30,00%
48	14337	14,71%	44,71%
54,5	6686	6,86%	51,57%
62	6291	6,45%	58,02%
58	5291	5,43%	63,45%
51,2	3712	3,81%	67,26%
35,5	3040	3,12%	70,37%
66	2883	2,96%	73,33%
51	2623	2,69%	76,02%
59,2	2026	2,08%	78,10%
56	1656	1,70%	79,80%
51,1	1559	1,60%	81,40%
60,5	1521	1,56%	82,96%
31,6	1295	1,33%	84,29%
59	1245	1,28%	85,56%
54	1218	1,25%	86,81%
64	925	0,95%	87,76%
34,5	924	0,95%	88,71%
59,5	817	0,84%	89,55%
46,5	812	0,83%	90,38%
42,5	690	0,71%	91,09%
60	653	0,67%	91,76%
47	629	0,65%	92,40%
38	568	0,58%	92,99%
63	535	0,55%	93,54%
28,5	448	0,46%	93,99%
49,5	432	0,44%	94,44%
61,5	396	0,41%	94,84%
62,5	339	0,35%	95,19%
43	338	0,35%	95,54%
44,5	332	0,34%	95,88%
48,5	314	0,32%	96,20%
57	306	0,31%	96,52%
56,5	294	0,30%	96,82%
62,2	275	0,28%	97,10%

Diâmetro do cavilhão (cm)	Quantidade Total Produzida (unidades)	Percentagem da Produção (%)	Percentagem Acumulada (%)
55,5	228	0,23%	97,33%
40,5	226	0,23%	97,56%
30,5	220	0,23%	97,79%
72	207	0,21%	98,00%
67	192	0,20%	98,20%
28	180	0,18%	98,38%
47,5	175	0,18%	98,56%
69	160	0,16%	98,73%
61	158	0,16%	98,89%
49	150	0,15%	99,04%
40	130	0,13%	99,18%
31,5	120	0,12%	99,30%
65	82	0,08%	99,38%
51,5	72	0,07%	99,46%
69,2	72	0,07%	99,53%
67,1	64	0,07%	99,60%
42	40	0,04%	99,64%
48,2	40	0,04%	99,68%
46,3	36	0,04%	99,72%
44	32	0,03%	99,75%
63,5	32	0,03%	99,78%
55,2	30	0,03%	99,81%
31	20	0,02%	99,83%
34,2	20	0,02%	99,85%
41,3	20	0,02%	99,87%
53	20	0,02%	99,90%
53,5	20	0,02%	99,92%
32,3	19	0,02%	99,94%
29,5	18	0,02%	99,95%
39	16	0,02%	99,97%
68,2	12	0,01%	99,98%
38,5	9	0,01%	99,99%
45	8	0,01%	100,00%
Total	97485	100%	-

Anexo B – TPM de 1º nível



TPM - 310 / 548 / 646 / 209

2023 - SETEMBRO

Forno 548	1	Chão	Calaminas/Sujidades	Diária	08h-16h45	vassoura e pá	Diária	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Forno 548	2	Todos os sistemas	Fugas hidráulicas	Diária	08h-16h45	visual	8:00 / 16:45																															
Máquina 310	3	Chão	Calaminas/Sujidades	Diária	08h-16h45	vassoura e pá																																
Máquina 310	4	Todos os sistemas	Fugas hidráulicas	Diária	08h-16h45	visual																																

Forno 548	5	Óleo hidráulica	Verificar/Atestar níveis	Semanal	segunda	visual	Semanal	1	2	3	4	5
Forno 548	6	Copos de massa	Lubrificar	Semanal	segunda	3 bombadas	8:00 / 16:45					
Forno 548	7	Rodas e guias	Lubrificar	Semanal	segunda	3 bombadas						
Forno 548	8	Grelha ventilador	Limpeza	Semanal	segunda	vassoura e pá						
Máquina 310	9	Guias, eixos e filtro A.C.	Limpeza	Semanal	segunda	vassoura e pá						
Máquina 310	10	Óleo hidráulica	Verificar/Atestar níveis	Semanal	segunda	visual						

Forno 548	11	Soleira e isolamentos	Inspeção	Mensal	segunda	visual	Mensal	1
Máquina 310	12	Cabeça Enrolamento	Lubrificar	Mensal	segunda	Massa	8:00 / 16:45	
Forno 548	13	Forno	Limpeza	Mensal	segunda	Aspirador		

LEGENDA	
OPERADOR	CÓDIGO
Mauricio Fernandes	A
Marco Luiz	B
Vitor Marques Santos	C



TPM - 310 / 548 / 646 / 209

2023 - SETEMBRO

Manutenção LS versão



2023

Samuel Barroso

Proposta de Modelo *Lean* para Eliminar Problemas e Reduzir Desperdícios – Estudo
de Caso numa Fábrica Metalúrgica