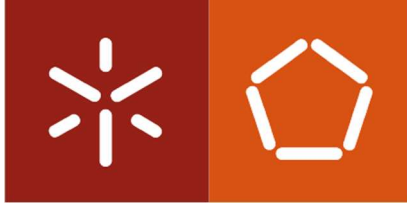


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco Silva de Sousa

Melhoria do desempenho do sistema de produção
aplicando *Lean Six Sigma* numa empresa de
fundição injetada

outubro de 2022



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco Silva de Sousa

Melhoria do desempenho do sistema de
produção aplicando *Lean Six Sigma* numa
empresa de fundição injetada

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão
Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Anabela Carvalho Alves

outubro de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

É alegria, é realização, é conquista, é partilha, é dedicação, é tristeza, é frustração, é resiliência. Esta dissertação é isto tudo e muito mais, é o fruto de cinco anos de muito trabalho e o início de um novo começo. Ao longo desta jornada foram muitas as pessoas que contribuíram para o meu sucesso académico e pessoal e, por isso, merecem um agradecimento particular.

Antes de mais um agradecimento muito especial à mulher, que desde o primeiro dia, me apoia e ajuda a ser cada vez melhor. Mãe, amiga e companheira, o meu eterno obrigado por estares sempre do meu lado e me apoiares em todas as minhas decisões. Sempre foste fonte de amor, aprendizagem e resiliência. Obrigado, mãe!

Ao meu pai, um obrigado por todos os princípios que me passaste ao longo dos anos. Obrigado pelo apoio ao longo destes anos. Foi contigo que aprendi o que é responsabilidade, honestidade e integridade.

Ao meu irmão, um obrigado por todas as dores de cabeça e brincadeiras, mas acima de tudo por todo o apoio e ajuda durante todos estes anos. Obrigado, miúdo!

À minha companheira de todas as fases, tantas alegrias e tristezas partilhadas. Mais uma etapa realizada em conjunto. A ti Daniela, agradeço todos os conselhos, todo o apoio, todo o amor e todo o carinho partilhados ao longo destes anos. Obrigado, princesa!

À professora Doutora Anabela Alves, um especial agradecimento por todo o apoio e orientação ao longo desta atribulada jornada. Obrigado por todo o profissionalismo e todos os ensinamentos passados ao longo de cinco anos que jamais serão esquecidos.

Ao engenheiro Manuel, à Alexandra, à Catarina, ao Eduardo e ao Nuno, serei eternamente grato por me terem acolhido na família que é a Labina. Obrigado por todo o apoio e ajuda prestados durante este projeto.

Aos meus colegas de curso, Alexandre, Anaísa, Bernardo, Gonçalo, Maria e Regina, obrigado pelo companheirismo, pela amizade e por uma jornada incrível. Sem dúvidas muitas horas partilhadas entre aulas, trabalhos viagens entre outros momentos mais. Obrigado!

Por fim, mas não menos importante, um enorme obrigado a toda a minha família e amigos por sempre acreditarem em mim e me darem força para procurar fazer sempre mais e melhor. Convosco partilhei e partilho muitas alegrias e muitas vitórias.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Melhoria do desempenho do sistema de produção aplicando *Lean Six Sigma* numa empresa de fundição injetada

RESUMO

A presente dissertação de mestrado apresenta um projeto realizado na empresa Labina, localizada em Braga. O principal objetivo deste projeto foi a redução do tempo de *setup* da mudança dos moldes de injeção, aplicando os princípios *Lean Thinking* e a metodologia *Lean Six Sigma*.

A primeira fase do projeto passou pela pesquisa e escrita da revisão bibliográfica sobre as temáticas *Lean Production* e as metodologias *Single Minute Exchange of Dies* e *Lean Six Sigma* de modo a conceber uma base teórica necessária para o desenvolvimento do trabalho proposto. A metodologia de investigação usada foi *Action-Research*, uma vez que há uma intervenção continua do investigador com o meio a ser intervencionado, incluindo a interação com as equipas de trabalho, de forma a serem concretizadas ações de melhoria.

Após a escrita da revisão bibliográfica, com o objetivo de identificar os desperdícios existentes no processo de mudança de molde, foi realizada uma descrição e análise crítica do estado atual da empresa. Desta forma, a partir das contínuas observações do chão de fábrica, do acompanhamento das mudanças de molde, da determinação dos tempos de *setup*, da análise de gráficos de Pareto, do diagrama de *Ishikawa*, entre outras ferramentas, foram identificados vários desperdícios e problemas como a falta de pistões, a falta de ferramentas de trabalho, a falta de aumento do porta-pistão e moroso arranque das máquinas.

Identificados os problemas, foram delineadas ações de melhoria com o propósito de reduzir, ou eliminar, os principais desperdícios. Deste modo, foi sugerida a criação de um documento de acompanhamento do molde, a implementação de um sistema de caixa cheia caixa vazia, a aquisição e definição das ferramentas necessárias, a utilização de apertos rápidos para as mangueiras e o pré-aquecimento do molde.

Fruto da conjuntura atual da empresa, as ações de melhoria não foram ainda implementadas, contudo é expectável que as ações de melhoria apresentadas tragam uma redução de 48% do tempo de *setup* e uma redução de 57% dos custos por perda de oportunidade.

PALAVRAS-CHAVE

DMAIC, *Lean Production*, *Lean Six Sigma*, *Six Sigma*, SMED.

Improvement of production system performance by applying Lean Six Sigma in a dies-casting company

ABSTRACT

This master's thesis presents a project carried out in the company Labina, located in Braga, whose main objective was to reduce the setup time of the change of injection dies, by applying the Lean Thinking principles and the Lean Six Sigma methodology.

The first phase of the project involved researching and writing a literature review about Lean Production as well as the Single Minute Exchange of Dies and Lean Six Sigma methodologies to create the theoretical basis necessary for the development of the proposed work. The research methodology used was Action-Research, since there is a continuous intervention of the researcher with the environment to be involved, including interaction with the work teams, to implement improvement actions.

After writing the literature review, with the objective of identifying the waste existing in the mold change process, a description and critical analysis of the current state of the company was performed. This way, from continuous observations of the shop floor, monitoring of the mold changes, determination of setup times, analysis of Pareto charts, Ishikawa diagram, among other tools, several wastes and problems were identified, such as lack of pistons, lack of working tools, lack of enlargement of the piston rack, and slow machine start-up.

Once the problems were identified, a set of improvement actions were outlined with the purpose of minimizing, or eliminating, the main wastes. Thus, it was suggested the creation of a mold monitoring document, the implementation of a full box empty box system, the acquisition and definition of the necessary tools, the use of quick-release hose clamps and the pre-heating of the mold.

Due to the company's current situation, the improvement actions have not been implemented, however it is expected that the improvement actions presented will cause a 48% reduction in setup time and a 57% reduction in lost opportunity costs.

KEYWORDS

DMAIC, *Lean Production*, *Lean Six Sigma*, *Six Sigma*, SMED.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de investigação.....	3
1.4 Estrutura da dissertação.....	4
2. Revisão bibliográfica.....	6
2.1 <i>Lean Production</i>	6
2.1.1 Origem.....	6
2.1.2 <i>Toyota Production System</i>	7
2.1.3 Conceito e tipos de desperdício.....	8
2.1.4 Princípios <i>Lean Thinking</i>	10
2.1.5 Ferramentas.....	11
2.2 <i>Six Sigma</i>	19
2.3 <i>Lean Six Sigma</i>	20
2.3.1 Ciclo DMAIC.....	20
3. Apresentação da empresa.....	26
3.1 Identificação e localização.....	26
3.2 Processo de Fundição Injetada.....	27
3.2.1 Matéria-prima.....	28
3.2.2 Processo de injeção.....	28
3.3 Molde para fundição injetada de alumínio.....	30

4.	Descrição e análise crítica da situação atual	34
4.1	<i>Define</i>	34
4.1.1	Definição do projeto.....	34
4.1.2	Mapeamento preliminar dos processos	37
4.2	<i>Measure</i>	37
4.2.1	Mapeamento do processo de <i>setup</i>	38
4.2.2	Identificação dos tempos de <i>setup</i>	40
4.3	<i>Analyse</i>	42
4.3.1	Análise das tarefas realizadas	42
4.3.2	Custos por perda de oportunidade	44
4.3.3	Identificação dos problemas	45
4.3.4	Síntese dos problemas e severidade	51
5.	Apresentação das propostas de melhoria	53
5.1	Criação de um documento guia para a montagem do molde.....	54
5.2	Criação de sistema “duas caixas”.....	55
5.4	Calibração e armazenamento dos programas das máquinas e dos <i>robots</i>	57
5.5	Definição das ferramentas necessárias no <i>setup</i> e outros meios de apoio	58
5.6	Implementação de sistemas de encaixe rápido nas mangueiras e pré-aquecimento de moldes 60	
5.7	Proposta de conversão de atividades internas em externas	61
5.8	Controlo das ações de melhoria.....	63
6.	Análise e discussão de resultados	65
6.1	Redução do tempo de <i>setup</i>	65
6.2	Aumento da capacidade produtiva	66
6.3	Redução dos custos por perda de oportunidade.....	66
7.	Conclusão	68
7.1	Considerações finais	68
7.2	Trabalho futuro	69
	Referências Bibliográficas	70
	Apêndices	73

Apêndice 1 – Análise de <i>Pareto dos motivos de paragem mensais</i>	74
Apêndice 2 – SIPOC do Processo de Mudança de Molde.....	76
Apêndice 3 – Mapeamento do Processo de Mudança de Molde.....	77
Apêndice 4 – Análise dos Tempos de Setup	78
Apêndice 5 – Análise das Paragens mensais.....	82
Apêndice 6 – Diagrama de <i>Fishbone</i> do Levantamento de Problemas no <i>Setup</i>	89
Apêndice 7 – <i>Potential Problem Analysis dos Problemas Identificados</i>	90
Apêndice 8 – Matriz Esforço-Benefício.....	92
Apêndice 9 – Documento de Acompanhamento do Molde.....	95
Anexos	96
Anexo 1 – Lista normalizada das ferramentas	97
Anexo 2 – Documento de verificação das ferramentas.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Casa TPS.....	7
Figura 2 - Representação dos 3M's	10
Figura 3 - Relação entre as Seis Grandes Perdas e os Fatores do OEE.....	14
Figura 4 - Etapas dos conceitos e técnicas do SMED	17
Figura 5 - Ciclo DMAIC.....	21
Figura 6 - Project Charter.....	22
Figura 7 - SIPOC.....	23
Figura 8 - PPA	24
Figura 9 - Imagem da entrada da empresa Labina	26
Figura 10 - Planta da Labina.....	27
Figura 11 - Liga de alumínio 24 (Esquerda) e Liga de alumínio 10 (Direita).....	28
Figura 12 - Forno de fusão.....	29
Figura 13 - Fases de injeção	29
Figura 14 - Inserções	31
Figura 15 - Sistema extrator.....	31
Figura 16 - Haste.....	32
Figura 17 - Câmara simples (Esquerda) e Câmara integral (Direita)	32
Figura 18 - Termorregulador	33
Figura 19 - Análise de Pareto de paragens do primeiro semestre 2022.....	35
Figura 20 - Ponte para transporte do molde	38
Figura 21 - Alimentação de alumínio por caleira	39
Figura 22 - Ponte conectada ao molde	39
Figura 23 - Alimentação de alumínio por pipeta.....	40
Figura 24 - Braço robot.....	40
Figura 25 - Calço de fixação correto	48
Figura 26 - Calço de fixação com anilha	48
Figura 27 - Porta-pistão.....	49
Figura 28 - Aquecimento do molde com maçarico.....	50
Figura 29 - Diagrama de afinidade processo de setup	53
Figura 30 - Carro de ferramentas	59

Figura 31 - Cinto de ferramentas	60
Figura 32 - Engates rápidos	60
Figura 33 - Análise de Pareto janeiro.....	74
Figura 34 - Análise de Pareto fevereiro.....	74
Figura 35 - Análise de Pareto março	74
Figura 36 - Análise de Pareto abril	75
Figura 37 - Análise de Pareto maio	75
Figura 38 - Análise de Pareto junho	75
Figura 39 - SIPOC do Processo de Mudança de Molde	76
Figura 40 - Mapeamento do Processo de Mudança de Molde	77
Figura 41 - Primeiro registo dos tempos de setup.....	78
Figura 42 - Segundo registo dos tempos de setup	79
Figura 43 - Terceiro registo dos tempos de setup	80
Figura 44 - Quarto registo dos tempos de setup	81
Figura 45 - Análise paragens de janeiro.....	82
Figura 46 - Análise paragens de fevereiro.....	83
Figura 47- Análise paragens de março	84
Figura 48 - Análise paragens de abril	85
Figura 49 - Análise paragens de maio	86
Figura 50 - Análise paragens de junho	87
Figura 51 - Análise paragens de 1º semestre	88
Figura 52 - Levantamento de problemas no Setup.....	89
Figura 53 - Potential Problem Analysis dos Problemas Identificados (Parte 1)	90
Figura 54 - Potential Problem Analysis dos Problemas Identificados (Parte 2)	91
Figura 55 - Matriz esforço-benefício.....	92
Figura 56 - Documento de acompanhamento do molde.....	95
Figura 57 - Lista de verificação de ferramentas	100

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Ferramentas e documentos que compõem o processo de trabalho normalizado	13
Tabela 2 - Exemplos de ocorrências das “Seis Grandes Perdas” e respectivas consequências	15
Tabela 3 - Project Charter do projeto.....	36
Tabela 4 - Operações realizadas durante o setup.....	41
Tabela 5 - Análise das atividades como externas (E) ou internas (I).....	42
Tabela 6 - Percentagem de atividades internas e externas	44
Tabela 7 - Dados de referência na análise de custos	44
Tabela 8 - Estudo dos custos para os ensaios analisados	45
Tabela 9 - Estudo dos custos mensais.....	45
Tabela 10 - Atividades internas que podem ser convertidas em externas ou eliminadas	51
Tabela 11 - Escala da severidade	52
Tabela 12 - Escala da ocorrência	52
Tabela 13 - Dados de diâmetro e espessura.....	56
Tabela 14 - Análise tempo de ciclo.....	56
Tabela 15 - Conversão das atividades internas em externas	62
Tabela 16 - Redução do tempo de setup	65
Tabela 17 - Aumento da capacidade produtiva	66
Tabela 18 - Redução do custo de oportunidade.....	67
Tabela 19 - Priorização das ações de melhoria.....	93
Tabela 20 - Escala de priorização da matriz esforço-benefício.....	94
Tabela 21 - Lista normalizada de ferramentas (Parte1).....	97
Tabela 22 - Lista normalizada de ferramentas (Parte2).....	98
Tabela 23 - Lista normalizada de ferramentas (Parte3).....	99

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

DMAIC – *Define – Measure – Analyze – Improve – Control*

DPMO – *Defects per Million Opportunities*

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

JIT – *Just-in-Time*

KPI – *Key Performance Indicator*

LSS – *Lean Six Sigma*

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

PPA – *Potential Problem Analysis*

SIPOC – *Supplier – Input – Process – Output – Customer*

SMED – *Single Minute Exchange of Dies*

TPS – *Toyota Production System*

1. INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo é dedicado à apresentação do enquadramento e motivação do presente projeto de dissertação. São, também, apresentados os objetivos deste trabalho e explicada a metodologia de investigação adotada. O último tópico desta secção apresenta a estrutura de dissertação.

1.1 Enquadramento

Decorrente da crescente globalização e, conseqüentemente, do aumento da competitividade no ramo empresarial, as empresas sentem a necessidade de se distinguir da concorrência a partir da criação de valor para o cliente e de se tornarem sustentáveis (Aguado et al., 2013; Alves et al., 2019). Estas poderão beneficiar da aplicação dos princípios *Lean Thinking* e da implementação do *Toyota Production System* (TPS) (Womack & Jones, 1996).

A ideia-chave do *Lean* é “fazer mais com menos”, “(...) onde “menos” significa menos recursos, menos inventário, menos esforço humano, menos espaço (...)”, por isso este conceito nascido no chão de fábrica da empresa Toyota no pós-guerra pode ser aplicado em qualquer empresa de produção de bens e/ou de serviços (Amaro et al., 2019).

De acordo com Lavado (2016) e George et al. (2005), o *Lean* está alinhado com a metodologia *Six Sigma* de melhoria continua que utilizam diversas ferramentas com o propósito de reduzir a variabilidade dos processos e reduzir os defeitos, a partir da aplicação de diversas metodologias, dos quais se destaca o DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*. Com a integração da metodologia *Six Sigma* reduz-se a variabilidade do serviço prestado aos clientes, contribuindo para uma diminuição de, por exemplo, tempo de entrega, defeitos, entre outros.

No contexto do ramo automóvel, com a crescente necessidade de inovação, é fulcral que as empresas estejam capacitadas para acompanhar e responder com a exigência do mercado. Ili et al. (2010) defende que promover a inovação e minimizar os custos devem ser as principais medidas a adotar, de forma que as empresas possam definir e atingir objetivos estratégicos face aos desafios e necessidades do mercado automóvel. De modo a cumprir com os requisitos do mercado atual, o *Lean* permite desenvolver, produzir e distribuir produtos com recurso a menos capital e esforço humano, contribuindo como um paradigma inovador, no sentido da eliminação de todo o tipo de desperdício em todas as áreas de atividade de uma empresa (Fadly Habidin et al., n.d.; Mohanty et al., 2007).

O *Lean*, acompanhado do *Six Sigma*, no setor em análise, permite, para além da eliminação de desperdícios, reduzir a variabilidade do processo produtivo e aumentar a qualidade dos artigos produzidos, permitindo, assim a promoção de princípios de melhoria contínua, sempre com foco em iniciativas inovadoras que responda às novas e futuras necessidades do mercado automóvel (Fadly Habidin et al., n.d.).

Neste contexto, pretendeu-se introduzir e aplicar os princípios *Lean Thinking* e a metodologia *Six Sigma* na empresa Labina – Fundação Injetada, Unipessoal, Lda, por forma a fazer frente à globalização e competitividade, num momento em que a empresa se afirma na produção de artigos por injeção de alumínio fundido.

1.2 Objetivos

O objetivo deste projeto de dissertação passou pela aplicação dos princípios *Lean Thinking* e da metodologia *Six Sigma* na empresa Labina – Fundação Injetada, Lda, com o propósito de identificar oportunidades de melhoria, a partir da deteção e eliminação de desperdícios, com particular foco nos tempos de *setup* das máquinas. De forma a cumprir com os objetivos supracitados pretendeu-se:

- Desenvolver o projeto com base na filosofia *Lean Six Sigma* e no ciclo DMAIC;
- Compreender o processo de mudança de molde;
- Mapear o processo de mudança de molde;
- Cronometrar os tempos de *setup*;
- Calcular as perdas, em termos de custo, das paragens por *setup*;
- Aplicar a metodologia SMED, para diminuição dos tempos de *setup*;
- Clarificar as causas para os problemas identificados;
- Identificar as oportunidades de melhoria;
- Propor ações de melhoria;
- Implementar, se possível, as ações de melhoria;
- Identificar os potenciais ganhos;
- Definir um plano de controlo para as medidas implementadas;
- Formar os colaboradores em ferramentas *Lean*.

Com as propostas de melhoria, espera-se melhorar:

- Reduzir as paragens não planeadas;
- Reduzir os *muda* (desperdícios);

- Reduzir os tempos de setup;
- Reduzir WIP;
- Reduzir tempo de entrega;
- Aumentar produtividade;
- Reduzir custos.

1.3 Metodologia de investigação

Numa fase inicial, foi realizada uma revisão de bibliografia relativa aos conceitos necessários para o desenvolvimento e compreensão deste documento, sempre com o intuito de definir uma base teórica sólida, capaz de fundamentar e sustentar o presente projeto de dissertação. Neste sentido, foram analisadas várias fontes, tais como artigos científicos, relatórios de dissertação, livros e revistas científicas, por forma a corroborar a teoria apresentada. Estabelecida a base teórica, iniciou-se o desenvolvimento da metodologia de investigação.

A metodologia de investigação aplicada nesta dissertação foi a *Action-Research* (Investigação-Ação, em português), uma vez que, durante o desenvolvimento deste projeto, o investigador participa na atividade de pesquisa e analisa detalhadamente a situação, intervindo, ativamente, em conjunto com todos os intervenientes no projeto, nunca desconsiderando os pontos de vista de todas as partes interessadas (O'Brien, 2001).

Esta metodologia foi desenvolvida por Kurt Lewin em 1946 e, mais tarde, O'Brien introduz o conceito "Aprender Fazendo", evidenciando a intervenção do investigador no sentido de cooperação com os colaboradores no desenvolvimento do projeto (O'Brien, 2001). Neste sentido, a metodologia *Action-Research* é composta por um ciclo de cinco fases: Diagnóstico, Planeamento de ações, Implementação de ações, Avaliação de resultados, Especificação da aprendizagem (Susman & Evered, 1978). Estas fases foram seguidas no desenvolvimento desta dissertação:

1. **Diagnóstico:** foi identificado e analisado o estado atual da área produtiva, particularmente, em termos de processos, de fluxo de materiais, informação e pessoas e de tempos de *setup* das máquinas. Recorreu-se à observação e filmagem do *Gemba* (chão de fábrica), à interação com os operadores e chefes de turno, ao mapeamento dos processos e atividades realizadas e aos documentos e dados existentes. Esta fase teve o objetivo de identificar os problemas e desperdícios existentes durante a fase de *setup* das máquinas e detetar ações críticas para o processo em

estudo. O recurso a ferramentas como Gráfico de Pareto, estudo de tempos, gráficos de análise de processo, diagrama de *Ishikawa*, *5Whys*, entre outras, foram usadas para auxiliar esta fase.

2. **Planeamento de ações:** delineou-se um plano de ações de melhoria de forma a implementar as soluções para os problemas identificados anteriormente. Assim, após a análise do estado atual foi aplicada a metodologia SMED, na qual foram identificadas as atividades desenvolvidas durante o processo de mudança de molde. Estas atividades foram, posteriormente, divididas em internas e externas. Nesta fase procurou-se aplicar, também, a ferramenta 5S por forma a organizar o material e espaço de trabalho dos operadores e desenvolver um documento de instruções de trabalho para introduzir o *standard work* no processo analisado.
3. **Implementação de ações:** as ações de melhoria foram apresentadas à administração da empresa, contudo, devido a entrada de novos artigos no portefólio produtivo, as ações de melhoria não foram implementadas. Por este motivo, foram apresentados resultados esperados para as propostas de melhoria apresentadas.
4. **Avaliação de resultados:** realizou-se uma comparação dos resultados esperados dados recolhidos do estado inicial, recorrendo-se a indicadores de desempenho para quantificar o impacto das transformações feitas, nomeadamente indicadores como os custos e o tempo.
5. **Especificação da aprendizagem:** destacaram-se as *lessons learned* a partir dos passos anteriores. Esta etapa final compreendeu a sugestão de trabalhos futuros assente no *mindset* de melhoria contínua da empresa.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em sete capítulos distribuídos de forma coerente e, cada um, relacionado com um tema específico.

O presente e primeiro capítulo pretende realizar um enquadramento do projeto, de modo a demonstrar a pertinência e relevância do projeto, são também identificados os objetivos, a metodologia de investigação utilizada e, por fim, a especificação da estrutura da dissertação.

No segundo capítulo é feita a revisão bibliográfica que incide sobre o *Lean Production* e a metodologia *Single Minute Exchange of Dies*, no qual o principal objetivo passa pela redução dos tempos de *setup* e pelo estudo de ferramentas fundamentais para a execução deste projeto. Primeiramente, é introduzida a origem da filosofia *Lean Production*, bem como os seus principais fundamentos, seguindo-se os diferentes tipos de desperdícios e algumas ferramentas imprescindíveis para a realização deste projeto.

Posteriormente, é também abordada a filosofia *Lean Six Sigma*, com particular destaque no ciclo *Define-Measure-Analyse-Improve-Control*, analisando, individualmente, cada etapa desse ciclo, abordando os diferentes objetivos e as ferramentas necessárias para os alcançar com sucesso.

O terceiro capítulo dedica-se à apresentação da empresa, descrevendo o processo de fundição e injeção e apresentando os conceitos essenciais para a mudança de molde.

O quarto capítulo apresenta a descrição detalhada do processo de mudança de molde e é realizada uma análise crítica ao estado atual, a partir de ferramentas tais como o estudo dos tempos de *setup*, gráficos de Pareto, diagrama de *Ishikawa*, entre outras. Foram também realizadas múltiplas e contínuas observações do chão de fábrica e recolhidos dados relevantes ao projeto.

No quinto capítulo são introduzidas as propostas de melhoria tendo por base os problemas identificados na etapa anterior.

O sexto capítulo é dedicado à apresentação dos resultados esperados, utilizando como indicadores de desempenho o tempo de *setup* e o custo por perda de oportunidade. Estes resultados esperados foram comparados com os dados obtidos relativos ao estado atual do projeto.

Por fim, o sétimo capítulo apresenta as considerações finais do projeto onde são explicitadas as conclusões e as propostas para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo destina-se à revisão bibliográfica dos conteúdos indispensáveis para desenvolver uma base teórica sólida dos conteúdos que se pretende aplicar. Primeiramente, é abordada a filosofia *Lean Production*, nomeadamente abordando as suas origens, o *Toyota Production System* e analisando os oito tipos de desperdícios e os princípios do pensamento *Lean Thinking*. Segue-se uma apresentação das principais ferramentas da metodologia apresentada, com principal foco nas ferramentas que são utilizadas no desenvolvimento do presente projeto. Por fim, é descrita a metodologia *Six Sigma*, com particular destaque no seu cruzamento com o *Lean*, comumente designado por *Lean Six Sigma* (LSS).

2.1 *Lean Production*

A filosofia *Lean Production* foi desenvolvida com o propósito de eliminar os diversos tipos de desperdícios presentes numa organização, a partir de um conjunto variado de ferramentas (Hoellthaler et al., 2019). *Lean Production* é descrita por uma ideia-chave, produzir mais recorrendo ao mínimo de recursos possíveis (Alves et al., 2014; Jasti & Kodali, 2015).

2.1.1 Origem

O *Lean Production System* é a designação atribuída por Krafcik (1988), ao sistema de produção da *Toyota Motor Company*, também conhecido como *Toyota Production System* (TPS), criado por Taiichi Ohno, no Japão, após a segunda guerra mundial (Ohno, 1988). O TPS e, conseqüentemente, o *Lean Production* têm o objetivo de eliminar desperdícios e, por conseqüência, reduzir custos e aumentar a produtividade. A obtenção destes está dependente da eliminação de desperdícios, nomeadamente, a existência de inventário desnecessário e o excesso de produção (Langlotz & Aurich, 2021).

A terminologia *Lean Production* é difundida a partir da publicação do *best-seller* “The Machine that Changed the World” pelos autores James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Roos. Neste livro são realçadas as diferenças entre o sistema de produção em massa e o TPS no ramo automóvel, sendo que esta última se manifesta claramente mais produtiva e lucrativa. Estes resultados são obtidos através de um sistema produtivo que recorre a equipas multifacetadas em todos os níveis da produção.

Desta forma, estes autores concluem que o *Lean Production* é mais eficiente que a produção em massa, uma vez que recorre a menos esforço humano na produção, menos espaço de manufatura, menos investimento em ferramentas, menos gastos em inventário, menos defeitos e, conseqüentemente,

produz produtos com maior qualidade e diversidade, sempre atendendo às necessidades do cliente (Womack et al., 1990).

2.1.2 Toyota Production System

Como referido, o *Toyota Production System* (TPS) está na base do *Lean Production* e, como tal, é essencial analisar e interpretar este sistema produtivo. O TPS surge, numa primeira instância, após a Segunda Guerra Mundial, e, mais tarde, em 1973, após a crise do petróleo. A empresa japonesa *Toyota Motor Corporation* apresenta este modelo produtivo como forma de aumentar a produtividade a partir da eliminação de desperdícios produtivos (Monden, 1998). Os princípios e objetivos deste modelo produtivo são, comumente, representados na forma de uma casa, a casa do TPS (Liker & Morgan, 2006) apresentada na Figura 1.



Figura 1 - Casa TPS
(Liker & Morgan, 2006)

Os pilares desta metodologia são a produção *Just-in-Time* (JIT) e o *Jidoka*. Estes princípios, em conjunto com o trabalho em equipa e a redução de desperdícios, permitem operar no sentido da melhoria contínua.

Na base da casa do TPS encontramos o nivelamento da produção e o *Standard Work*. Esta deve dar estabilidade para que todo o sistema possa funcionar e, por isso, a carga de trabalho e as ordens de produção devem estar controladas e niveladas. Deste modo, é possível definir procedimentos padrão, de forma a uniformizar os processos e as operações, evitando existência de inventário desnecessário e paragens na produção (Liker & Morgan, 2006).

Seguem-se os pilares do TPS, o JIT, que se caracteriza por produzir apenas o necessário quando necessário, e o *Jidoka*, que representa a autonomia dos colaboradores na deteção e resolução imediata

dos problemas. Estes pilares fundamentam a ideia de uma produção *one-piece-flow* (produzir uma unidade de cada vez mediante a necessidade do cliente), a redução de inventários entre postos de trabalho e a eliminação de atividades que não acrescentem valor, permitindo aumentar a qualidade da produção e dos produtos produzidos (Liker, 2004).

De modo particular, a partir da metodologia JIT, é possível identificar dois sistemas produtivos distintos *push* e *pull*. No primeiro, as ordens produtivas surgem no início da linha produtiva e este fica responsável por “empurrar” as peças para o posto de trabalho seguinte e assim sucessivamente. Neste sentido, é possível identificar que o fluxo de informação acompanha o fluxo de produção. Por outro lado, no sistema *pull*, normalmente associado à implementação do método JIT, o posto de trabalho seguinte pede peças ao posto de trabalho anterior. Deste modo a produção ocorre mediante necessidade e pedido do cliente, tornando o sistema produtivo mais livre de desperdícios como a sobreposição e a existência de *stock* e garantindo que são cumpridos os princípios *Lean* (Monden, 1998).

Ao centro da casa do TPS surgem dois elementos essenciais para o bom funcionamento do TPS, as pessoas e a eliminação dos desperdícios. Neste sentido, é necessário fomentar o trabalho em equipa e olhar para a equipa como uma unidade, ao invés de um conjunto de pessoas. Relativamente à eliminação de desperdícios (*Muda, Mura, Mur*), descritos na próxima secção, é necessário analisar as diversas atividades e identificar as que não acrescentam valor, na perspetiva do cliente, assim é possível aumentar a eficiência do processo produtivo. Desta forma, as equipas devem ser treinadas para identificar e eliminar os desperdícios, de modo a promover a melhoria continua dos processos (Liker, 2004; Ohno, 1988).

No telhado da casa do TPS são destacados os objetivos desta metodologia, ou seja, o aumento da qualidade, da moral da equipa, a redução dos custos e dos prazos de entrega e a melhoria da segurança de trabalho.

2.1.3 Conceito e tipos de desperdício

No *Lean Production*, o desperdício (*muda*, em japonês) é definido como o conjunto de todas as atividades e operações que, do ponto de vista do cliente, não acrescentam valor para o produto (Hines et al., 2008; Melton, 2005). No âmbito das atividades que não acrescentam valor, estas podem subdividir-se em duas categorias: atividades necessárias e atividades desnecessárias. As primeiras devem ser analisadas no sentido de as minimizar o mais possível, já as segundas devem ser eliminadas, uma vez que, na perspetiva do cliente, não acrescentam valor e, na perspetiva da empresa, não são necessárias para o processo (Womack & Jones, 1996). Ohno (1988) identifica sete tipos diferentes de desperdícios:

- i. **Sobreprodução:** a sobreprodução origina um volume de artigos acima dos encomendados. Isto origina excesso de inventário e de transportes desnecessários, aumentando os custos de armazenamento (Liker, 2004).
- ii. **Esperas:** são consideradas esperas todas as paragens de pessoas, produtos ou processos. Estas podem ocorrer devido a, por exemplo, produto intermédio estar em espera devido à etapa seguinte do processo produtivo ainda estar ocupada (Melton, 2005).
- iii. **Transportes:** todos os transportes de matéria-prima, produto intermédio ou produto final, não acrescentam valor para o cliente, e por isso, são vistas como desperdício. Assim, transportar material entre os postos de trabalho ou entre o armazém e o posto de trabalho não apresenta valor e pode danificar o produto transportado (Lacerda et al., 2016).
- iv. **Sobre processamento ou processamento incorreto:** todos os processos e operações que não são essenciais na produção de um determinado produto. Exemplos deste tipo de desperdício são excessivas etapas de controlo de qualidade, uma vez que produzir artigos com qualidade acima da necessária é considerado desperdício (Liker, 2004).
- v. **Inventários:** armazéns e inventários intermédios são desperdícios e acarretam elevados custos. A este tipo de desperdício estão ligadas as esperas e, também, defeitos nos artigos quando os mesmo não são devidamente armazenados (Liker, 2004; Melton, 2005).
- vi. **Movimentações:** as movimentações dos trabalhadores no seu espaço de trabalho ou entre postos de trabalhos não acrescenta valor para o cliente. Neste sentido, é essencial minimizar estas deslocações, analisando a disposição do espaço de trabalho e o layout da linha de produção (Lacerda et al., 2016).
- vii. **Defeitos:** problemas com a qualidade dos produtos resulta em queixas por parte dos clientes. Este problema leva geralmente ao retrabalho e a perdas devido a artigos não conformes. É necessário identificar a origem do defeito, podendo este ser devido a falha humana ou a incorreto funcionamento de alguma máquina ou material (Lacerda et al., 2016; Melton, 2005).

Alguns autores defendem a existência de um oitavo tipo de defeito, o não aproveitamento do talento. Este defeito caracteriza-se pelo não aproveitamento das potencialidades humanas, o que pode levar a perda de oportunidades de melhoria (Lacerda et al., 2016; Liker, 2004).

Assim, no *Lean*, a caracterização dos diferentes tipos de desperdícios é realizada a partir do sistema 3'M, *Muda, Mura e Muri*. O primeiro M relativo aos principais tipos de desperdício foi analisado anteriormente. O segundo e terceiro são considerados sintomas do primeiro, i.e., existindo *mura* e *muri* existe de certeza *muda*. O segundo M, *Mura*, representa a variabilidade no produto ou no sistema

produtivo, o que leva a um desnivelamento da produção, quebrando, assim, uma das bases da casa do TPS. O terceiro M, *Muri*, refere a subcarga dos processos, operações e colaboradores, podendo, por isso, originar inúmeros problemas no âmbito da ergonomia e segurança no trabalho, na vertente do operador, e a defeitos ou não conformidades, na vertente do produto (Liker, 2004).

Desta forma, há três fontes de desperdício numa organização: as atividades que não acrescentam valor (*Muda*), o não balanceamento da produção (*Mura*) e a sobrecarga de pessoas e operações (*Muri*) Figura 2. Por exemplo, em Quinteiro (2021) estes sintomas foram identificados em processos. Em Melo et al. (2020), os 3M foram reduzidos melhorando os layouts e as condições ergonómicas.

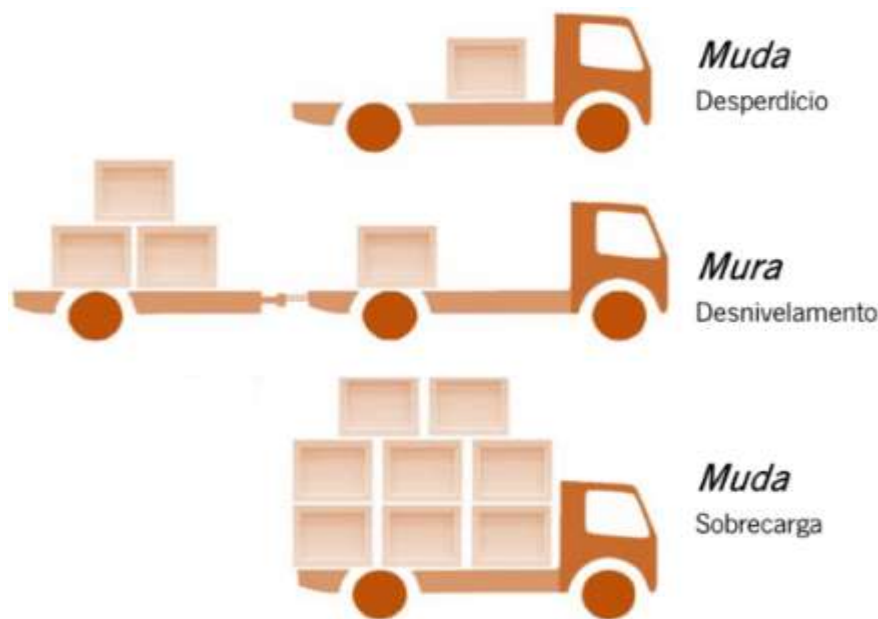


Figura 2 - Representação dos 3M's (Schwaab, 2017)

2.1.4 Princípios *Lean Thinking*

Resultante do *Lean Production* os autores James Womack e Daniel Jones (2003) introduzem o conceito de *Lean Thinking* no livro "*Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth In Your Corporation*" de 1996 (Womack & Jones, 1996). Neste sentido, os autores evidenciam cinco princípios chave para o pensamento *Lean*, sendo eles:

- i. **Valor:** de acordo com Womack e Jones (2003) o valor apenas pode ser definido pelo cliente final. Neste sentido, e sendo este o primeiro pilar do pensamento *Lean*, é essencial, através do diálogo, perceber e identificar quais os requisitos específicos do cliente em termos de funções e características, de forma a definir o que realmente acrescenta valor ao produto a um preço e tempo específico. Assim, todo o pensamento produtivo tem início na identificação de valor para o cliente, a partir do *Muda*.

- ii. **Cadeia de Valor:** nesta fase do pensamento *Lean* é necessário identificar as ações que acrescentam valor dentro das três tarefas críticas da gestão: resolução de problemas, gestão da informação e transformação do produto. Desta forma, é necessário mapear todos os processos e atividades necessários para a produção do produto, por forma a realçar as atividades que, segundo o *Muda*, não acrescentam valor (Womack & Jones, 2003).
- iii. **Fluxo:** identificado o conceito de valor para o cliente e eliminados os desperdícios, é essencial criar um fluxo produtivo contínuo, no qual existe a constante procura por diminuir os desperdícios, em termos de esperas, paragens ou movimentações, nomeadamente nos processos de preparação das máquinas, tempos de *setup* (Womack & Jones, 2003).
- iv. **Produção *Pull*:** a produção puxada significa que um artigo apenas é produzido quando existe uma encomenda por parte do cliente. Consequência da implementação do JIT, este sistema produtivo sugere produzir apenas o necessário no período de tempo acordado. Desta forma, é possível reduzir desperdícios em termos de stocks e evitamos a acumulação de artigos que se possam tornar obsoletos (Womack & Jones, 2003).
- v. **Busca pela perfeição:** a procura pela perfeição remete para a gestão da qualidade total, com o propósito de promover a melhoria contínua dos processos e produtos de forma a diminuir ou eliminar o *Muda*, de forma a acrescentar valor do ponto de vista do cliente (Womack & Jones, 2003).

Assim, o processo de implementação do pensamento *Lean* deve contemplar todas as etapas, de forma a perceber o que é o valor, para o cliente, e a identificar as atividades que acrescentam valor e as atividades que não acrescentam valor, devendo as últimas ser analisadas de forma a eliminar os desperdícios.

2.1.5 Ferramentas

Nesta secção são introduzidas e analisadas as diferentes ferramentas que se procuram aplicar ao longo deste projeto, bem como os *key performance indicators* (KPI's) utilizados. Em complemento às ferramentas *Lean* apresentadas nesta secção, serão, posteriormente, apresentadas ferramentas do âmbito do *Lean Six Sigma*.

2.1.5.1 Técnica 5S

A aplicação da técnica 5S visa incorporar nos princípios e processos de uma empresa, práticas de organização, arrumação, limpeza, normalização e disciplina no posto de trabalho (Gapp et al., 2008).

“Tudo tem um lugar e tudo no seu lugar!” (Feld, 2001). A denominação desta técnica remete para cinco palavras japonesas (Feld, 2001):

1. **Seiri (Separar):** a primeira etapa está relacionada com retirar as ferramentas não usadas regularmente do espaço de trabalho. É necessário verificar as ferramentas e separar a desarrumação dos materiais necessários no posto de trabalho, de forma a facilitar o fluxo de materiais e as movimentações dos operadores.
2. **Seiton (Organizar):** é responsável por identificar e organizar os materiais pertencentes a um determinado posto de trabalho. Os materiais devem estar separados e alocados a um determinado espaço. Se uma ferramenta não necessitar de identificação, então não é essencial no posto de trabalho.
3. **Seiso (Limpar):** está relacionado com a limpeza diária do espaço de trabalho. Um posto de trabalho deve estar limpo e organizado no fim de cada turno. O operador deve verificar se o seu espaço de trabalho tem todo o material necessário e que o mesmo está devidamente organizado.
4. **Seiketsu (Normalizar):** preocupa-se com o método de gestão de forma a reforçar as atividades standard. A limpeza e organização do posto de trabalho deve ser incluída nas instruções de trabalho, de forma a evitar que os operadores voltem aos velhos hábitos. Devem ser realizadas auditorias internas com o propósito de controlar a implementação da ferramenta.
5. **Shitsuke (Autodisciplina):** a fase final remete para a importância de a equipa de gestão dar um bom exemplo ao aplicar esta ferramenta no seu espaço de trabalho. As ações são mais relevantes que as instruções de trabalho e é indicativo de uma boa liderança. Assim, é importante aplicar esta metodologia e verificar, pessoalmente, se a mesma está a ser corretamente implementada nos diferentes postos de trabalho.

2.1.5.2 *Standard Work*

Tal como identificado na secção 2.1.2, a normalização de processos encontra-se na base do TPS. Assim, a ferramenta *Standard Work* constitui uma das principais ferramentas na aplicação de práticas *Lean* numa instituição.

O foco da normalização do trabalho centra-se na especificação dos métodos e a padronização das seqüências de operações para cada processo, procurando reduzir ou eliminar variações no tempo de produção de todos os postos de trabalho. Neste sentido, as tarefas a executar pelos operadores nos diferentes postos de trabalho devem estar devidamente documentadas e descritas (Ohno, 1988). No desenvolvimento de instruções de trabalho, é essencial ter cuidado para que as especificações sejam de fácil compreensão e interpretação para o colaborador.

Durante o desenvolvimento do *Standard Work* deve haver uma procura pela integração de todas as pessoas afetas ao processo em estudo, por forma a garantir a existência de um esforço e colaboração mútuos com os operadores que iram executar as tarefas descritas (Ribeiro et al., 2013).

Press Development Team (2002) defende que os principais benefícios da implementação do *Standard Work* numa empresa são o aumento da qualidade e da estabilidade dos processos, melhorando a previsibilidade dos tempos de entrega, e a diminuição dos desperdícios e dos custos. Na perspetiva dos operadores, as melhorias consistem na maior clareza na aprendizagem das operações e, conseqüentemente, na facilidade de adaptação às mudanças que se pretendem implementar.

Monden (1998) destaca três elementos-chave no *Standard Work*:

1. **Tempo de ciclo normalizado:** tempo de ciclo que permite responder à procura do mercado;
2. **Sequência de trabalho normalizada:** conjunto de tarefas que representam a melhor forma e também a mais segura de realizar o trabalho;
3. **Inventário WIP normalizado:** indica a quantidade mínima de stock que deve ser mantida de maneira que seja possível garantir um fluxo contínuo da produção, sem paragens.

Na Tabela 1, Liker e Meier (2007) indicam que o *Standard Work* se apresenta segundo cinco tipos de documentos/ferramentas apresentados.

Tabela 1 - Ferramentas e documentos que compõem o processo de trabalho normalizado
(Liker & Meier, 2007)

Ferramenta/Documento	Objetivo
Folha de trabalho normalizado	Principal ferramenta usada na identificação de desperdícios em atividades repetitivas. Usado para documentar o fluxo de trabalho, recolher informação para balancear operações e mostrar a quantidade de trabalho normalizado em processo.
Folha de trabalho combinado	Utilizado para analisar a relação entre um operador e uma máquina para sincronizar eficazmente o trabalho e eliminar o tempo que o operador está à espera da máquina. Também usada para várias pessoas que trabalham no mesmo item simultaneamente.
Ficha de capacidade de processamento	Utilizado para analisar a capacidade de produção de equipamento e fatores nas mudanças de ferramentas, tempo de preparação e outros planeados perdas.
Instrução de trabalho do operador	Usado para detalhar tarefas cíclicas e não cíclicas importantes especialmente as que são realizadas com pouca frequência. documento é um documento de referência e não é afixado em a área de trabalho.
Cartas de balanço do ciclo	Utilizado para comparar os tempos de ciclo com o <i>takt time</i> para equilibrar operações e eliminar trabalho irregular. Utilizado frequentemente para identificar oportunidades de combinar trabalho, eliminar <i>muda</i> (desperdício), e reduzir a necessidade de trabalho.

2.1.5.3 Overall equipment effectiveness

De forma a medir a produtividade e a eficiência da produção é necessário analisar o indicador de performance *overall equipment effectiveness* (OEE). O OEE reúne um conjunto de métricas que permitem reconhecer o potencial dos diferentes equipamentos, identificar e controlar as perdas e destacar as oportunidades de melhoria, tornando possível comparar a eficiência de diferentes máquinas, turnos ou departamentos (Stamatis, 2010).

Os principais objetivos da aplicação deste KPI são o aumento da produtividade, da esperança de vida dos equipamentos e da necessidade de medir a produtividade dos equipamentos e a diminuição de custos. Estas alterações visam aumentar os lucros, atingir níveis de produtividade elevados, identificar os equipamentos menos eficientes e reduzir as despesas (Stamatis, 2010).

Nakajima (1988), introduz o conceito de OEE em “*Introduction to TPM: total productive maintenance*” e apresenta as seis grandes perdas de eficiência dividindo-as em três categorias, disponibilidade, produtividade/performance e qualidade, conforme se pode verificar na Figura 3 (Ferreira, 2017).

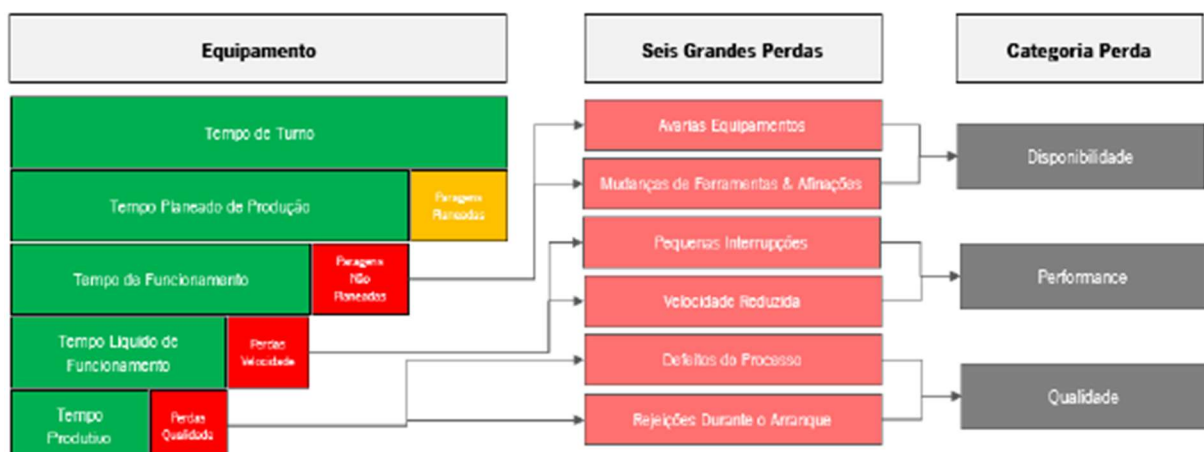


Figura 3 - Relação entre as Seis Grandes Perdas e os Fatores do OEE (Ferreira, 2017)

De modo a melhor compreender as seis grandes perdas e com o propósito de analisar a origem destas e as suas consequências surge a Tabela 2.

Tabela 2 - Exemplos de ocorrências das “Seis Grandes Perdas” e respectivas consequências
(Stamatis, 2010)

Seis Grandes Perdas	Ocorrências	Consequências
Avarias	- Falhas Ferramentas; - Avaria Mecânica, elétrica ou de outros sistemas que provocam a interrupção do equipamento; - Manutenção Não Planeada; - Falha Geral do Equipamento.	Perda de Disponibilidade (Reduzem o tempo disponível para o equipamento produzir ou operar)
Mudança de Ferramentas & Ajustes	- Mudança de Ferramentas; - Preparação da Máquina; - Falta de Material; - Falta de Operador; - Ajustes e Ajustes do Equipamento; - Arranque do Equipamento.	
Pequenas Interrupções	- Obstrução do Fluxo de Produto; - Limpeza e Pequenos Ajustes; - Encravamento de Componentes ou Sensores Bloqueados.	Perdas de Velocidade/Performance (Paragens inferiores a 5 minutos. Não requerem intervenção do pessoal da Manutenção. Tudo o que impeça de se produzir à Taxa de Produção ideal esperada)
Velocidade Reduzida	- Produzir de Forma Grosseira; - Funcionamento Abaixo da Velocidade Especificada; - Funcionamento Irregular; - Equipamento com Degaste; - Incapacidade do Operador em Garantir o Funcionamento Regular.	
Defeitos do Processo	- Sucata; - Produto Fora das Especificações; - Defeitos Recuperáveis; - Montagem Incorreta; (Produto Rejeitado Durante a Produção Estabilizada)	Perdas de Qualidade (Reduzem a quantidade de produto que cumpre as especificações à primeira)
Rejeições Durante o Arranque	- Sucata; - Produto Fora das Especificações; - Defeitos Recuperáveis; - Montagem Incorreta; (Produto Rejeitado Durante a Fase de Arranque da Produção)	

Assim, o OEE é calculado a partir do produto de três fatores, Disponibilidade, Performance e Qualidade, representados nas equações 1, 2 e 3 apresentadas.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de Funcionamento}}{\text{Tempo Planeado de Produção}} \quad (1)$$

$$\text{Performance} = \frac{\text{Tempo de Ciclo Ideal} \times \text{Peças Produzidas}}{\text{Tempo de Funcionamento}} \quad (2)$$

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Peças Boas}}{\text{Peças Produzidas}} \quad (3)$$

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Performance} \times \text{Qualidade} \quad (\%)$$

2.1.5.4 *Single Minute Exchange of Dies*

A ferramenta *single minute exchange of dies* (SMED) consiste numa metodologia para a troca rápida de ferramentas, onde, através da aplicação de diferentes técnicas, se procuram reduzir os tempos de *setup*, uma vez que estes são responsáveis pelas interrupções necessárias para a preparação das máquinas (Shingo, 1983).

Shingo (1983) defende a existência de um conjunto de estágios conceituais para a aplicação do SMED numa organização, Figura 4:

- **Estágio preliminar:** Não há diferenciação entre o *setup* interno e externo. Neste estágio é desenvolvida uma análise contínua da produção, normalmente com recurso a um cronometro para registar os tempos das diferentes operações. De forma complementar, filmar as diferentes operações permite, posteriormente analisar as atividades com maior detalhe e com dados mais significativos. Devemos, também, ter em consideração os pontos realçados pelos operadores envolvidos nas atividades, uma vez que eles são os responsáveis pela identificação dos problemas externos e internos que podem afetar a operação e preparação do equipamento.
- **Estágio 1:** Nesta etapa são distinguidas as atividades internas das externas. Neste sentido, é necessário organizar as diferentes atividades, especificando e separando as mesmas em tempos internos, os quais podem ser realizados com a máquina parada, e tempos externos, os quais podem ser realizados com a máquina em operação.
- **Estágio 2:** Estágio onde as atividades internas são convertidas em externas. Desta forma, é necessário procurar a padronização das operações e das ferramentas, por forma a converter o maior número possível de atividades internas em externas, diminuindo, assim, o tempo de paragem da máquina.
- **Estágio 3:** Neste estágio há um foco na melhoria contínua das atividades internas. Desta forma, é estudado o equipamento e todas as ferramentas e peças a ele associadas, de forma a eliminar operações desnecessárias e retrabalho e a implementação de *standard work*.

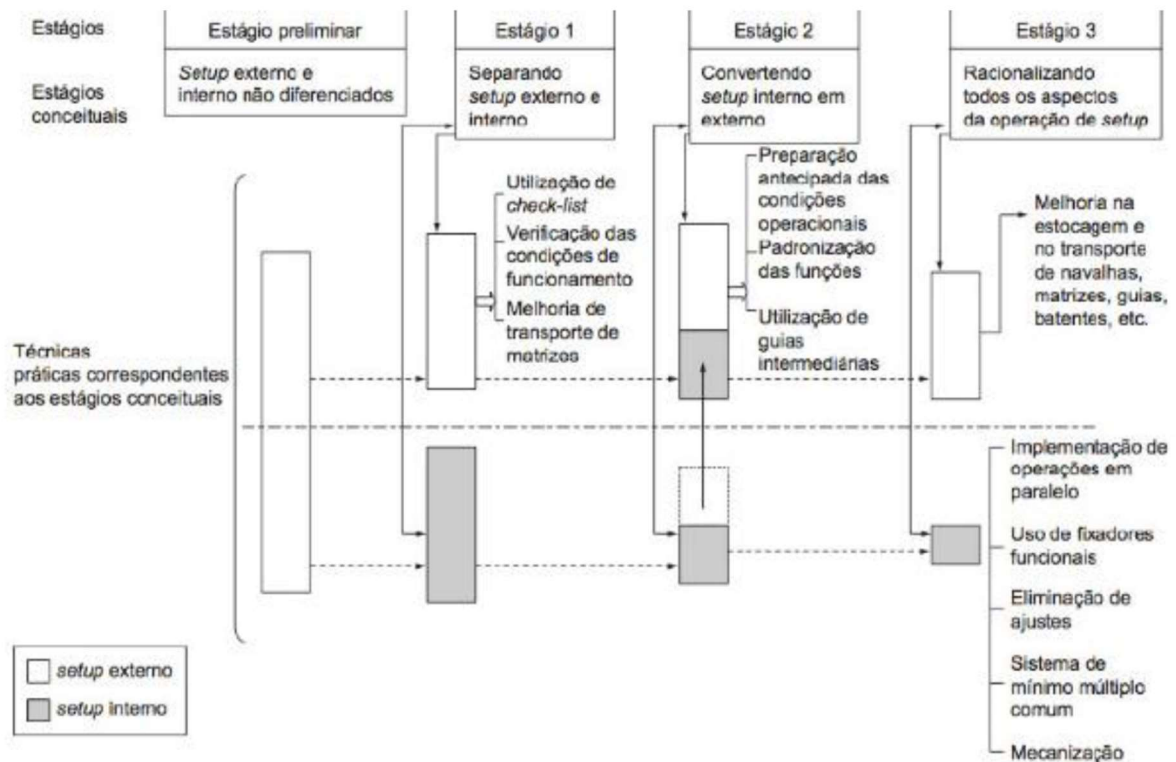


Figura 4 - Etapas dos conceitos e técnicas do SMED (Shingo, 1983)

2.1.5.5 Mecanismos *Poka-Yoke*

No seguimento do SMED, Shiego Shingo desenvolveu, também, os dispositivos á prova de erros, mecanismos *Poka-Yoke*. Segundo Shingo (1986), os sistemas *Poka-Yoke* são capazes de detetar erros e/ou defeitos, conseguindo inspecionar todas as peças produzidas e operando de forma independente do operador.

Deste modo, estes mecanismos previnem que o erro seja cometido ou permite identificar o erro, de forma a impedir que o mesmo transite para as próximas operações. Na literatura são identificados dois tipos de métodos *Poka-Yoke* (Shingo, 1989):

1. **Método de controlo** – Neste método existe uma paragem total da máquina ou da linha de produção quando uma anomalia é detetada. Assim, a máquina é interdita de continuar a produção de peças não conformes, permitindo que haja uma intervenção imediata sobre o problema;
2. **Método de advertência** – Neste método é emitido um sinal luminoso e/ou sonoro que indicam a existência de um problema, de forma que o colaborador responsável possa atuar.

Complementarmente, Shingo (1989) classifica os *Poka-Yoke* de controlo segundo três grupos:

1. **Contacto** - identifica anomalias na forma ou dimensão do produto, podendo haver ou não contacto entre o dispositivo e o produto;
2. **Conjunto** - através da contagem automática do número de movimentos realizados, deteta se todos os movimentos/passos estabelecidos ocorrem nas várias operações;

3. **Etapas** - a partir do conjunto de atividades standard estabelecidas, este método evita que o colaborador faça alguma tarefa por engano que não faz parte do padrão definido.

Para um melhor entendimento da aplicação da metodologia *Poka-Yoke*, devem ser destacadas as principais origens dos erros, assim como deve existir distinção entre os conceitos de “erro” e “defeito”. Conforme explicitado por Marques (2014), os erros podem ter diversas origens:

- **Origem Humana** – podem estar associados a vários fatores como a fadiga ou a negligência.
- **Origem Material** – ocorre quando um determinado material não se adequa ao respetivo processo.
- **Origem Máquina** – assim que é ultrapassada a capacidade de uma máquina.
- **Origem Método** – associada à falta de operações standard.
- **Origem Informativa** – ocorre quando, por algum motivo, há uma falha no fluxo de informação dentro da organização.

O conceito de “defeito” define-se como uma consequência dos erros, ou seja, os erros tornam-se defeitos se não existir algum mecanismo de correção e eliminação ao longo do processo. A metodologia *Poka-Yoke* disponibiliza o “*feedback*” simples e necessário para que o erro não se transforme num defeito, impedindo a organização de incorrer em custos acrescidos.

2.1.5.6 *Kanban*

O *kanban* é um sistema de gestão dos fluxos de materiais e informação. Este sistema opera no âmbito da metodologia JIT e procura “puxar” o sistema produtivo. Foi desenvolvido por Taiichi Ohno, na Toyota, funcionando como um sinal para autorizar a produção, sempre seguindo os princípios de uma produção *pull* (Gross & Mcinnis, 2003; Hou & Hu, 2011; Pinto, 2014). Pinto (2014) identifica ainda dois tipos de *kanbans*:

- **Produção:** o posto de trabalho seguinte apenas pode produzir quando receber o *kanban* do posto anterior;
- **Transporte:** de modo a atuar no sentido de controlar inventários e movimentações, este tipo de *kanbans* está inserido no fluxo de informação e materiais. Neste sentido, todas as movimentações e necessidades de materiais apenas são despoletadas após o sinal do *kanban*.

Desta forma, a implementação de *kanbans* atua no sentido de minimizar desperdícios, principalmente excessos de inventário, tempos de espera e custos logísticos (Rahman et al., 2013). Geralmente, o *kanban* assume a forma de um cartão, contudo, neste projeto de dissertação foi usado o sistema “duas caixas” como *kanban* de transporte.

Neste método, são usadas pelo menos duas caixas, uma cheia e outra vazia, para armazenar um determinado componente necessário para o processo. Quando uma das caixas fica vazia, é gerado,

visualmente, um alerta para a necessidade de reposição de inventário do componente em questão. De forma que este sistema seja corretamente implementado, é essencial que o posto de trabalho em que é implementado opere segundo a metodologia de produção JIT (Pinto, 2014). Este método permite controlar e eliminar as roturas de *stock* no posto de trabalho em que se encontra implementado, uma vez que, enquanto o *stock* da primeira caixa é repostado o operador consegue exercer as suas funções com recurso ao inventário da segunda caixa.

2.2 *Six Sigma*

O *Six Sigma* surgiu na Motorola pelo engenheiro *Bill Smith*, por volta dos anos 80. O engenheiro ficou conhecido por ter desempenhado um papel fundamental no ramo da qualidade resultando na premiação da Motorola, em 1988, com o prémio *Baldrige National Quality* (Snee, 2010).

O *Six Sigma* é uma metodologia de gestão que, a partir de um conjunto de ferramentas estatísticas, procura eliminar a variabilidade nos processos e aumentar a qualidade dos produtos (George, 2002). Esta estratégia de melhoria é usada para aumentar os lucros, eliminar os desperdícios, reduzir os custos da qualidade, melhorar a eficácia e eficiência de todos os processos operacionais e, uma vez que o cliente está no centro do processo de pensamento, todas as melhorias são desenhadas, com vista a corresponder com as expectativas do consumidor (Snee, 2004).

O *Six Sigma* é, também, sinónimo de melhoria da qualidade, aumento da confiança do consumidor e alcance de resultados. Nesta metodologia há uma procura por inserir, nas organizações, uma forma rigorosa e disciplinada de desenvolver projetos de melhoria de processos e de reconfiguração de processos, por forma a minimizar a necessidade de inspeção. Existe, também, um foco nos colaboradores, uma vez que estes devem assumir responsabilidade pela qualidade do trabalho desenvolvido, tendo, por isso, a função de eliminar, constantemente, todo o tipo de *muda* (desperdício) (Harland et al., 2007).

Estatisticamente, o *Six Sigma* representa-se, graficamente, por uma distribuição normal e refere-se ao desvio padrão, como a distância de um determinado ponto à média da distribuição (Ptacek et al., 2015). A escala de medição associada ao *Six Sigma* é baseada na métrica *Defects per Million Opportunities* (DPMO), na qual o defeito é caracterizado como todos os produtos que não se encontram de acordo com os padrões de qualidade e a oportunidade representa todos os momentos em que um artigo é produzido. Assim, quanto menor o desvio padrão, menor será a variabilidade do processo e menor a quantidade de

artigos defeituosos. Igualmente, quanto menor o DPMO, maior o nível *Sigma* e a qualidade dos artigos entregues ao cliente (Montgomery & Woodall, 2008).

2.3 *Lean Six Sigma*

O *Lean* e o *Six Sigma* são fundamentalmente distintas, contudo complementares, uma vez que procuram melhorar os processos. Por um lado, o *Lean* assume que remover todas as atividades que, do ponto de vista do cliente, não acrescentam valor devem ser removidas, a fim de acelerar o processo e, conseqüentemente, melhorar de forma geral os resultados da empresa. Paralelamente, o *Six Sigma* defende que a variabilidade é a causa raiz dos problemas dos processos e ao remover a variabilidade aumentamos a performance (Andersson et al., 2006; George, 2002).

Olhando para o sistema produtivo *Lean*, uma clara limitação é o facto de ser incapaz de solucionar problemas fora do âmbito dos princípios do *Lean Thinking* (Antony et al., 2017). Por outro lado, a fraqueza do *Six Sigma* reside na sua complexidade e na falta de capacidade de apresentar soluções standard (George, 2003). Ao fundir as duas metodologias surge o *Lean Six Sigma* (LSS), que fornece uma abordagem mais integral de resolução de problemas, combinando cuidadosamente todos os aspetos do problema em estudo (Antony et al., 2017).

2.3.1 Ciclo DMAIC

O ciclo DMAIC (*Define – Measure – Analyze – Improve – Control*), Figura 5, integra a metodologia *Six Sigma* e tem particular interesse quando aplicado em conjunto com as ferramentas *Lean*, sendo, por isso, a base de um projeto LSS (George, 2003). Este método consiste na iteração do ciclo e, a cada repetição o objetivo é eliminar determinadas fases do processo, normalmente as atividades que não acrescentam valor ao produto, e, através da aplicação de diferentes ferramentas e técnicas, desenvolver projetos de melhoria continua (Montgomery & Woodall, 2008).

A aplicação do DMAIC permite desenvolver projetos de forma metódica e faseada, uma vez que segue uma sequência de etapas para alcançar o foco do projeto (Antony, 2006). Estas etapas permitem definir o problema inicial, identificar as causas relacionadas com o problema e implementar soluções (George et al., 2005).

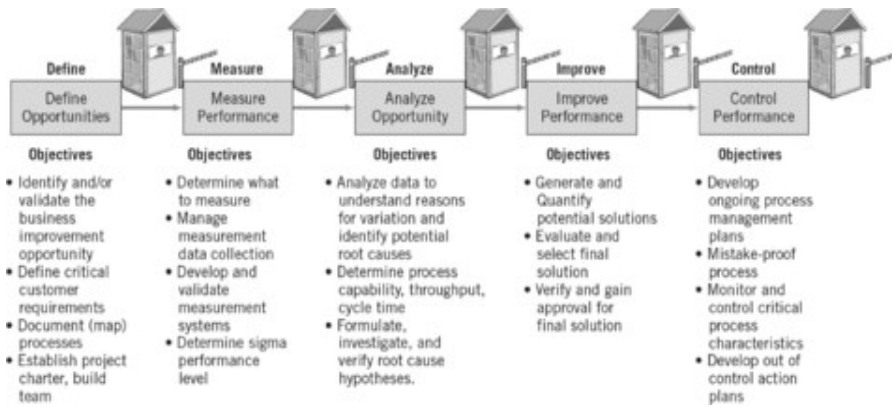


Figura 5 - Ciclo DMAIC (Montgomery & Woodall, 2008)

2.3.1.1 *Define*

Na fase do *Define*, o objetivo é identificar de forma clara o âmbito do projeto, os problemas que se pretende solucionar, os intervenientes no projeto, os recursos que serão necessários e os outputs esperados com o desenvolvimento do projeto (George, 2002). É essencial que a equipa de projeto defina os objetivos de forma quantitativa e tangível, sempre considerando as expectativas do cliente. Compreendendo o problema a partir das perspetivas da empresa e do cliente, os limites do projeto devem ser definidos de forma a não perder o foco no propósito final (Snee, 2004).

As principais ferramentas usadas nesta fase são o *Project Charter* e o SIPOC (*Supplier – Input – Process – Output – Customer*). O *Project Charter* permite, em formato de tabela, identificar todos os parâmetros relevantes para o desenvolvimento do projeto Figura 6.

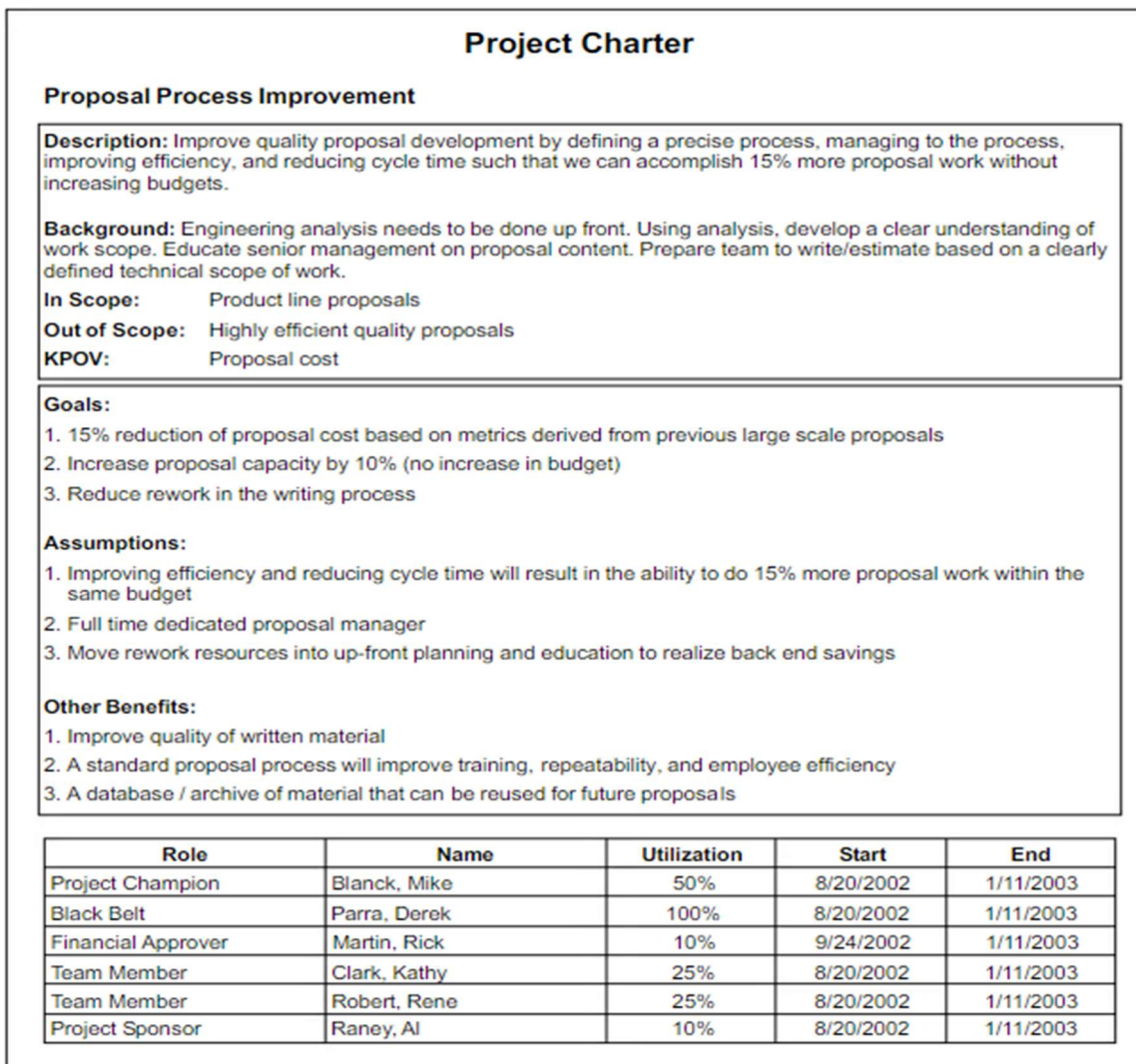


Figura 6 – Exemplo de Project Charter
(George, 2003)

O SIPOC ajuda a fazer um levantamento das principais etapas do processo em estudo e uma identificação dos requisitos necessários, Figura 7 (George, 2003; Sadraoui, 2014).

Em complemento às ferramentas mencionadas é possível completar esta etapa com a utilização de Fluxogramas do Processo, *Value Stream Mapping* ou Gestão Visual, por forma a melhor definir o problema em estudo.

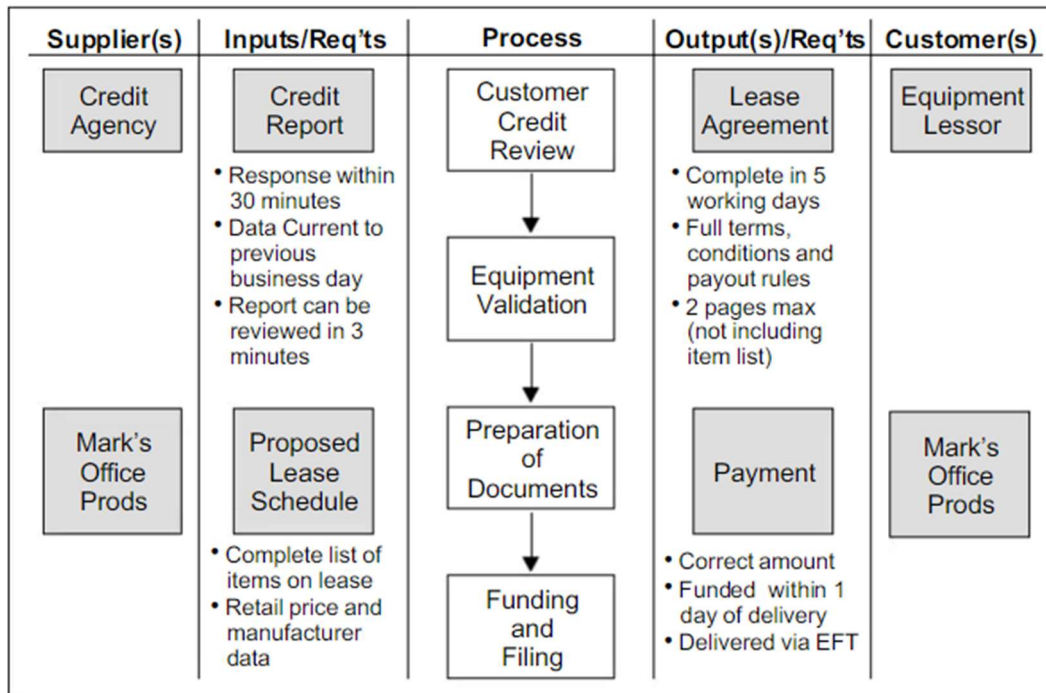


Figura 7 – Exemplo de um SIPOC (George, 2003)

2.3.1.2 Measure

Na fase do *Measure*, há a preocupação em reunir o máximo de dados possíveis relativamente ao processo em estudo. Os dados a recolher devem corresponder a *Key Performance Indicator's* (KPI's) relevantes para o projeto. George (2003) destaca alguns KPI's mais comuns: *Work in Process* (WIP), tempo de ciclo, *lead time*, tempo de *setup* e nível *sigma*.

Algumas dificuldades inerentes à obtenção de dados são a inexistência dos respetivos dados, os dados recolhidos estarem indisponíveis, separação e tratamento de dados, derivado a um grande volume de informação, e os dados existentes não estarem em concordância com os KPI's relevantes para o projeto (George, 2003; Sadraoui, 2014).

Relativamente à falta de dados ou informação a única solução possível é destacar um elemento da equipa para efetuar a recolha destes indicadores. Neste sentido, é relevante destacar alguns cuidados a ter na recolha de dados (George, 2003):

- Definir os indicadores que se pretende medir;
- Observar o processo em estudo;
- Mapear as atividades realizadas;
- Incluir os operadores envolvidos no processo.

Já em relação ao tratamento de dados, as ferramentas mais usadas são, o mapeamento de processos, a análise de Pareto, o diagrama de causa/efeito, o *Deployment Diagram*, o *Failure Mode and Effect*

Analysis (FMEA), *Potential Problem Analysis* (PPA), Figura 8, e a análise de cartas de controlo (Snee, 2004).

<i>Potential Problem Analysis</i>						
Análise de pré-requisitos: _____						
Potenciais Problemas	Causas Prováveis	Ocorrência	Severidade	Ações de prevenção	Risco	Plano de contingência

Figura 8 – *Potential Problem Analysis*
(Adaptado de *Potential Problem Analysis Tool - Discover Your Solutions LLC*, n.d.)

2.3.1.3 *Analyze*

Na fase *Analyze*, os dados recolhidos na etapa anterior são analisados por forma a encontrar a causa ou as causas raiz do problema que se pretende solucionar. Esta análise permite à equipa de projeto identificar os fatores e processos que estão na origem dos atrasos, desperdícios ou perdas de qualidade. Nesta fase é frequente recorrer a ferramentas como os cinco porquês, diagramas causa e efeito e gráficos de dispersão na análise dos dados recolhidos (George, 2003; Pyzdek, 2000). Em termos estatísticos, nesta etapa, é, também, relevante utilizar gráficos de dispersão, análises estatísticas ou testes de hipóteses para completar a análise e retirar conclusões relativas à variabilidade do processo.

Em alguns casos pode existir a necessidade de retornar à fase anterior para obter mais dados relevantes para o projeto. Concluída a fase *Analyze*, a equipa deve ter identificadas e compreendidas todas as causas raiz do problema em questão.

2.3.1.4 *Improve*

Na fase *Improve*, são considerados os resultados obtidos da fase anterior e são desenvolvidas e implementadas soluções, com o objetivo de eliminar as causas dos problemas identificadas. As soluções apresentadas devem ser “filtradas” em termos de benefício\esforço, sendo o esforço determinado pelos recursos humanos ou financeiros despendidos na implementação (George, 2003; Pyzdek, 2000). É essencial que a equipa identifique, de forma quantitativa, os resultados das melhorias implementadas, por forma a avaliar o impacto das medidas aplicadas.

2.3.1.5 *Control*

Um projeto LSS não fica concluído com a identificação do problema e implementação das soluções. Na fase *Control*, é necessário desenvolver um plano de ações que assegurem a continuidade do projeto e o cumprimento das ações de melhoria, uma vez que existe uma tendência natural de as empresas voltarem a adotar os hábitos antigos.

Neste sentido é necessário garantir que as ferramentas, princípios e metodologias implementadas sejam continuamente aplicadas e, para isso, podem ser desenvolvidas *checklists* como forma de auditoria interna, documentos de instruções de trabalho standard ou implementados mecanismos *Poka-Yoke*, de forma a assegurar essa continuidade. Num instante inicial desta fase, compete à equipa controlar a sustentabilidade e continuidade do projeto desenvolvido (George, 2003; Sadraoui, 2014).

2.3.2 Exemplos de aplicação da metodologia LSS

Na literatura é possível identificar e analisar múltiplos casos em que a metodologia LSS é aplicada em contexto industrial e, por vezes, implementado em outros setores. Dos diversos casos analisados destaca-se o trabalho desenvolvido em três dissertações realizadas em contexto empresarial (Araújo, 2020; Correia, 2018; Ramires, 2020) onde foram aplicadas e implementadas com sucesso, os conceitos LSS em diferentes setores de atividade, conseguindo, de modo geral, aumentar os níveis de produtividade e eficiências nos locais em que desenvolveram os seus projetos de dissertação.

Com a aplicação do LSS, Correia (2018) conseguiu reduzir a quantidade de sucata gerada pela empresa em 90%, gerando um proveito de 273€ no fecho do projeto.

Em contexto hospitalar, Ramires (2020) aplicou o ciclo DMAIC, com o objetivo de quantificar o nível sigma do processo e organizar toda a informação relevante para a análise do processo.

Recorrendo ao sistema produtivo LSS e respetivas ferramentas como forma de orientação, Araújo (2020) conseguiu assegurar que, no desenvolvimento do projeto, a equipa fosse capaz de identificar em que patamar se encontrava e quais os passos seguintes.

Estas referências permitiram identificar diversas formas de aplicação e implementação da metodologia e respetivas ferramentas, bem como identificar a sua aplicabilidade em áreas e contextos divergentes, evidenciado a sua simplicidade e aplicabilidade.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo é realizada uma breve apresentação da empresa Labina – Fundação Injetada, Unipessoal, Lda, visto que o presente projeto de dissertação foi realizado nas instalações da mesma. Em primeiro lugar é realizada uma contextualização da empresa, explicando a sua origem e enquadrando a empresa no panorama nacional. De seguida, são apresentados os principais clientes e produtos e, na fase final, apresentadas as áreas produtivas da fábrica.

3.1 Identificação e localização

A Labina é uma empresa familiar nacional, especializada na fundição e injeção de ligas de alumínio. A empresa, representada na Figura 9, surgiu em 1968 em Maximinos, Braga e, atualmente, afirma-se no mercado de componentes automóveis a nível nacional e internacional.



Figura 9 - Imagem da entrada da empresa Labina

A fábrica é constituída por cinco setores, conforme demonstrado na Figura 10. No primeiro situam-se os serviços administrativos e os escritórios da empresa. No segundo, surge a maquinação onde se encontram máquinas de CNC, responsáveis por maquinar chanfros e outros detalhes em determinados produtos. O terceiro setor corresponde à área de maior foco na presente dissertação e é onde se realizam todos os processos de fundição, injeção, aparação e grenalhagem. O quarto setor é a serralharia. Neste setor são realizadas as manutenções aos moldes e, também, é aqui que os mesmos são armazenados. Na serralharia são, igualmente, desenvolvidos os pistões, montadas as mangueiras e maquinados

componentes necessários à manutenção das máquinas de injeção, das prensas e dos moldes. No quinto e último setor são realizadas todas as atividades de inspeção, limpeza, retrabalho e embalagem de peças. É, também, aqui que todos os artigos seguem para expedição.



Figura 10 - Planta da Labina

3.2 Processo de Fundição Injetada

De modo a destacar a área de maior relevo para este projeto de tese é necessário analisar com particular detalhe o setor de fundição/injeção e o *modus operandi* do no mesmo.

Assim, de forma mais genérica, podemos descrever a fundição injetada como o processo de injeção, a elevada pressão, de metal no estado líquido para o interior de um molde de aço. Na Labina, são usados metais não ferrosos injetados a partir da força exercida pelo pistão de injeção na cavidade do molde. Este método confere uma espessura muito fina às peças e permite obter acabamentos com elevada qualidade, boa resistência a corrosão, tolerâncias apertadas e reduzidos tempos de ciclo.

3.2.1 Matéria-prima

A principal matéria-prima essencial no desenvolvimento dos produtos da Labina é o alumínio e, no caso particular desta empresa, são usados dois tipos de ligas de alumínio, nomeadamente, ligas de composição Al10SiMg e Al24SiMg. Estas ligas de alumínio são designadas internamente como alumínio 10 e alumínio 24 e são distinguidos, respetivamente, por uma identificação amarela e azul, conforme representado nas Figura 11.



Figura 11 - Liga de alumínio 24 (Esquerda) e Liga de alumínio 10 (Direita)

3.2.2 Processo de injeção

O processo inicia-se com a fundição dos lingotes de alumínio. Para isto, a empresa dispõe de dois fornos de fusão, Figura 12, com capacidade para duas toneladas. De seguida, o alumínio líquido é transportado para as máquinas e depositado nos fornos de manutenção.



Figura 12 - Forno de fusão

Desta forma, encontram-se reunidas as condições para iniciar o processo de injeção propriamente dita. Existem dois processos de injeção, câmara quente e câmara fria. No processo em câmara quente, a câmara está submersa no alumínio, já na câmara fria, esta encontra-se à temperatura ambiente, uma vez que se situa fora do forno de manutenção. Particularmente, na Labina, as máquinas de injeção operam todas segundo o processo de câmara fria. Posteriormente, o vazamento do alumínio, na empresa, é realizado de três formas, colher, pipeta ou caleira. Inserido o alumínio na câmara, é iniciado o processo de enchimento/injeção que se divide em três fases, Figura 13.

- **Primeira fase:** O pistão, impulsionado pelo sistema hidráulico, conduz, lentamente, o alumínio até à entrada da cavidade em regime laminar, de forma a evitar a entrada de ar no metal líquido.
- **Segunda fase:** A velocidade de inserção do alumínio aumenta, por forma a preencher, rapidamente, toda a cavidade do molde, sem que exista arrefecimento da liga.
- **Terceira fase:** É aplicada pressão elevada, de forma a compactar a liga quando se encontra próxima da temperatura de solidificação.

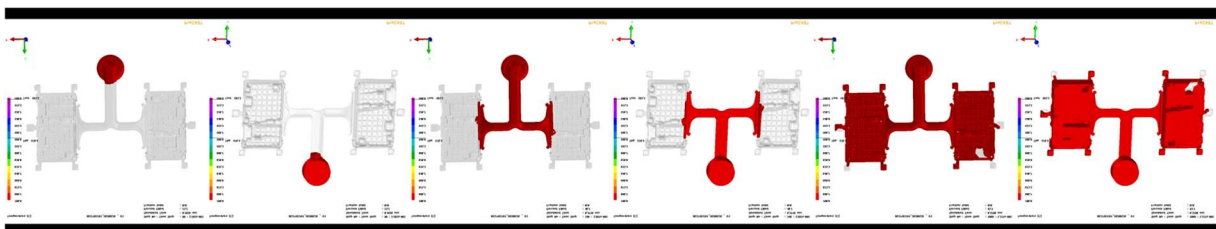


Figura 13 - Fases de injeção

A predefinição da quantidade de metal deve assegurar o preenchimento total da peça e de todo o sistema de alimentação, procurando obter uma bolacha com espessura suficiente para que seja a última parte a solidificar. A zona da bolacha corresponde à zona onde o *robot* de extração agarra a peça e, por isso, esta deve ter dimensões adequadas para as pinças do braço *robot*. Para além da peça e da bolacha, o *jito* é constituído por mais dois componentes:

- **Bolsas de ar:** Formas bem definidas nas extremidades da cavidade, com a função de estabilizar o arrefecimento do alumínio e facilitar o escoamento do ar para que não fique retido no interior da peça.
- **Canais de alimentação:** Canais responsáveis pelo enchimento da peça durante o processo de injeção do alumínio no interior do molde.

3.3 Molde para fundição injetada de alumínio

O molde para fundição injetada, possui no seu interior uma cavidade que contem a forma da peça que se pretende obter e deve ser resistente mecânica e termicamente, de forma a suportar as elevadas pressões exercidas pelas máquinas e as altas temperaturas do vazamento de alumínio. O molde pode conter apenas uma única cavidade, dando origem a uma única peça por injeção, ou múltiplas cavidades, originando diferentes quantidades de peças por injeção.

É relevante destacar quatro funções básicas de um molde de injeção: dar a forma da peça a fabricar, providenciar meios para o metal líquido atingir o espaço onde será mantido sob a forma desejada, remover calor do metal líquido permitindo que este solidifique e garantir e executar a remoção do fundido.

Entendido o funcionamento e funções de um molde é importante discriminar a composição do mesmo. Neste sentido, é possível identificar os seguintes componentes: parte fixa, parte móvel, inserções, placas extratoras, extratores, câmara/camisa, hastes e argolas.

O lado fixo do molde é o componente que permanece imóvel na máquina durante o processo de injeção. Acoplada a esta parte encontra-se a câmara/camisa que será abordada de seguida. De forma contrária, surge a parte móvel do molde que se move horizontalmente, a fim de permitir a extração da cavidade.

As inserções encontram-se no interior do molde e apresentam a geometria da peça, assim como todos os canais de alimentação e alimentadores da peça. As inserções permitem que um mesmo molde faça peças diferentes. Assim, toda a estrutura externa é a mesma mudando apenas as inserções. Quando o cliente altera a geometria da peça ou lança uma nova apenas necessita de efetuar a troca das inserções,

Figura 14.



Figura 14 - Inserções

As placas extratoras, Figura 15, são responsáveis pela extração da peça solidificada e possuem extratores que permitem empurrar a peça para fora da cavidade do molde. A placa é acionada por um cilindro extrator hidráulico.



Figura 15 - Sistema extrator

As hastes, Figura 16, são responsáveis por fazer a ligação entre a placa extratora e o cilindro extrator. A sua configuração muda conforme o tipo de máquina e o tipo de molde. Consoante o tipo de molde, existem diferentes tamanhos de roscas e consoante o tipo de máquina diferentes comprimentos de haste.



Figura 16 - Haste

A câmara é a estrutura onde é vazado o alumínio para posteriormente ser empurrado para o interior da cavidade do molde. No entanto, podemos distinguir diferentes tipos de camisas as simples e as integrais. As simples não possuem camisa, estando esta no molde, no entanto as integrais já possuem a camisa acoplada, Figura 17.



Figura 17 - Câmara simples (Esquerda) e Câmara integral (Direita)

As argolas são o meio por onde se efetua a ligação entre o molde e a ponte que faz o transporte do molde. As argolas podem variar relativamente ao tipo de rosca.

Alguns moldes de projetos mais recentes possuem também mangueiras de água e mangueiras de óleo. Os tubos de água fazem a ligação entre a estrutura e as mangueiras de água de refrigeração do molde, podendo variar quanto à quantidade e quanto ao tamanho. O molde poderá ter aquecimento a óleo, possuindo tubos responsáveis pela ligação das mangueiras de óleo ao molde. Estes tubos variam em número e em tamanho. Quando há aquecimento a óleo é necessário ter junto à máquina um termorregulador, Figura 18. O aquecimento a óleo tem como finalidade fazer um aumento mais rápido da temperatura da estrutura e posteriormente estabilizar a sua temperatura. Por vezes os moldes são

aquecidos com recurso a um maçarico, uma vez que os moldes mais antigos não estão preparados para aplicar o termorregulador.



Figura 18 - Termorregulador

Os moldes são fixados ao prato da máquina através de grampos, no entanto, estes possuem calços que variam a seu tamanho consoante a espessura da placa do molde.

4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DA SITUAÇÃO ATUAL

Este capítulo apresenta, detalhadamente, a descrição e análise crítica da situação existente na secção de Fundição, onde foi realizado este projeto. Para o desenvolvimento do projeto foi usada a metodologia *Lean Six Sigma*, seguindo as etapas lógicas do ciclo DMAIC. Nesta secção, serão aprofundadas as três primeiras fases deste ciclo.

4.1 *Define*

A fase *Define* integra duas grandes etapas: definição do projeto e exploração preliminar dos dados e, posteriormente, identificação e mapeamento inicial dos processos. Na fase da definição do projeto os objetivos e pontos críticos do problema foram identificados com o apoio de todas as partes interessadas do projeto e toda a informação relevante foi concentrada num *project charter*. De forma a identificar as oportunidades de melhoria e definir uma base para a melhoria, uma análise preliminar dos registos das paragens foi desenvolvida, de forma a identificar o tipo de paragem mais comum. Por fim, de forma a agregar e compreender os intervenientes e as atividades do processo foi desenvolvido um SIPOC que apresenta, de modo geral, o processo de mudança de molde.

4.1.1 Definição do projeto

A definição dos parâmetros de um projeto é a fase inicial de qualquer projeto de melhoria. A seleção dos processos com problemas conhecidos e com potencial para melhoria, a definição dos principais objetivos e quais as questões a que o projeto deve apresentar resposta, são alguns dos tópicos que têm de estar devidamente identificados antes de avançar para uma fase mais complexa do projeto.

O *input* do planeamento do projeto é a opinião da administração e da chefia relativamente à oportunidade de melhoria mais interessante para a Labina no imediato. Neste sentido, partindo do objetivo definido pelos patrocinadores do projeto, implementar a metodologia SMED na Fundição, foi recolhida e analisada a informação necessária para corroborar a necessidade urgente de tratar este problema.

Inicialmente, foi analisado, diariamente, o OEE, em particular a componente de disponibilidade, com o objetivo de compreender o impacto das paragens não programadas neste indicador. Na Labina, o *setup* da máquina é dividido em dois componentes, mudança de ferramenta/ molde e calibração da máquina. O tempo de mudança de ferramenta é considerado como uma paragem programada e, contrariamente, a calibração é vista como uma paragem não programada. Sempre que ocorre uma mudança de

ferramenta a máquina tem de ser calibrada por um operador capacitado para essa tarefa e a máquina fica parada até que o mesmo esteja disponível.

Em complemento a esta análise, foi desenvolvido, também, todos os dias, o levantamento do registo de paragens em minutos, por tipologia, na fundição. Este registo é realizado pelos operadores a partir do preenchimento de uma folha denominada internamente como “Diário de Produção da Máquina”. Neste documento o operador introduz o seu código interno, o código do posto de trabalho em que se encontra, a data, a designação interna da peça que estava a injetar, a hora de início e fim de trabalho, o contador inicial e final de injeções do molde e, por fim, as paragens que ocorreram durante o seu turno, identificando o tipo de paragens e a hora de início e fim da respetiva paragem. Estes dados são, posteriormente, inseridos num ficheiro *Excel*, de registo de produção, a partir do qual são calculados o OEE, o custo por não conformidade, entre outros indicadores relevantes para os diferentes departamentos da Labina.

Da análise destes dados, em particular do registo das paragens por tipo, foi possível verificar que, semanalmente, o *setup* (designação interna para calibração da máquina) e/ou a mudança de ferramenta (designação interna para troca de molde) se encontram entre os três principais motivos de paragem dentro do cenário geral da empresa. Com esta informação foram desenvolvidas análises de *pareto* para os meses de janeiro a julho de 2022, Apêndice 1 e Figura 19.

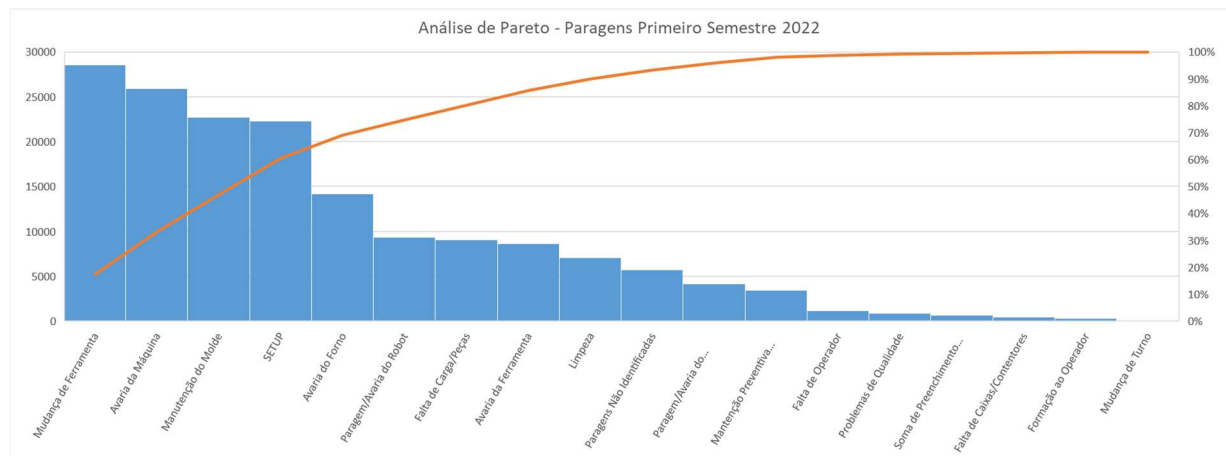


Figura 19 - Análise de *Pareto* de paragens do primeiro semestre 2022

Identificada uma oportunidade de melhoria e seguindo a metodologia do ciclo DMAIC, foi definido o problema “No setor de Fundição da Labina, uma das principais causas de paragem é o *setup*. Sendo que a empresa separa esta paragem na componente “mudança de molde” e “calibração da máquina”, pretende-se estudar estes dois processos de forma a minimizar o tempo de *setup* das máquinas de injeção”.

Assim, este projeto LSS pretendeu, a partir da implementação do SMED, diminuir o tempo de *setup* em 40% e normalizar as operações da mudança de ferramenta. Desta forma, as atividades de mudança de ferramenta e de calibração de máquina foram consideradas como um todo, sendo desenvolvido um documento de instruções de trabalho, bem como a implementação da técnica 5S para organização das ferramentas necessárias nesta operação. Complementarmente, foi criado um documento no qual se pretendeu catalogar todos os moldes e máquina e no qual seriam registados todos os *setups* realizados, de forma a controlar o sucesso do projeto. Foi expectável que estas melhorias se traduziriam num aumento de disponibilidade e de OEE, bem como numa redução do custo por perda de oportunidade e um menor esforço humano na realização destas operações.

Tabela 3 - *Project Charter* do projeto

<i>Problem Statement</i>	Resultados esperados
<p>No setor de Fundição da Labina, uma das principais causas de paragem é o <i>setup</i>. Sendo que a empresa separa esta paragem na componente “mudança de molde” e “calibração da máquina”, pretende-se estudar estes dois processos de forma a minimizar o tempo de <i>setup</i> das máquinas de injeção.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuir, em 40%, o tempo de <i>setup</i> nas 3 máquinas com mais mudança de molde; • Diminuir os custos de perda de oportunidade; • Normalizar as operações e instruções de trabalho; • Listar e organizar as ferramentas e materiais necessários no processo; • Identificar e organizar os parâmetros essenciais para a mudança de molde e afinação de máquina.
<i>Key Performance Indicator's</i>	<i>Project Scope</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de <i>setup</i>; • Tempo de cada operação; • <i>Overall Equipment Effectiveness</i>; • Disponibilidade; • Custo de perda de oportunidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • In scope: Analisar as operações, processos, materiais e operadores afetos ao <i>setup</i> das máquinas de Injeção. • Out of scope: Análise de outros tipos de paragens não planeadas; Estratégia usada no planeamento das mudanças de moldes.
Equipa de Projeto	
<ul style="list-style-type: none"> • Francisco Sousa; • Departamento de Planeamento; • Departamento de Logística; • Departamento de Manutenção; • Departamento de Serralharia/Moldes. 	

De forma a não perder o foco no projeto e ter um claro entendimento sobre a área de foco da equipa, foi necessário definir o âmbito do projeto. Neste sentido, enquadrou-se no campo de ação do projeto todas as atividades, ferramentas, operadores e equipamentos relacionados com o *setup*, ou seja, a mudança de ferramenta e a calibração da máquina. Desta forma, foram desconsideradas neste projeto todas as paragens que não estivessem relacionadas com esta atividade nem foi do interesse deste projeto

analisar a estratégia no planeamento da mudança de ferramenta. Assim, os KPI's relevantes para a equipa foram o OEE, a disponibilidade, a tempo de paragem total por *setup*, o tempo de execução de cada atividade e o custo de perda oportunidade. Todos os parâmetros de definição do projeto foram reunidos na Tabela 3, facilitando, assim, a interpretação e análise do âmbito e objetivos do projeto, bem como a identificação de todas as áreas intervenientes.

Considerando que o *setup* ocorria após satisfeita a necessidade do artigo que estava a ser injetado, o custo de perda de oportunidade foi determinado com base no tempo de ciclo do novo produto a ser injetado. Determinando o tempo de paragem total por *setup* e sabendo o tempo de ciclo, foi possível identificar o número de peças que podiam ser produzidas nesse período. Sabendo o custo de cada peça e o número de peças que não foram produzidas devido ao *setup*, foi possível calcular o custo de perda de oportunidade.

4.1.2 Mapeamento preliminar dos processos

De forma a sintetizar e compreender o processo de *setup* e as partes envolvidas neste, foi desenvolvido um SIPOC, Apêndice 2, no qual se encontram discriminados os principais fornecedores e clientes, os *inputs* e os *outputs* do processo e, de modo simplificado, o processo.

A partir do SIPOC, pode-se identificar as principais etapas do processo de produção que foram foco de análise na presente dissertação e sobre as quais iriam incidir as ações de melhoria. Destas etapas destacaram-se a colocação de molde e a programação e calibração da máquina.

O *output* principal é o molde novo instalado na máquina de fundição e, de forma complementar, segue também o molde antigo, juntamente com o pistão e outros componentes de desgaste, para a serralharia. Uma vez na serralharia os mesmos eram reparados para, quando necessário, serem novamente usados.

Em termos de entradas, a serralharia fornecia os moldes novos e os pistões prontos a instalar na máquina, o planeamento era responsável por definir quando ocorria o *setup*, bem como especificar qual a máquina e moldes envolvidos no mesmo. A manutenção e produção eram responsáveis por executar as mudanças de ferramenta e, também, por incluir todas as ferramentas necessárias.

4.2 Measure

Na fase *Measure* existe o objetivo de mapear e compreender o processo de mudança de molde, apresentando e caracterizando todas as etapas. Desta forma, nesta secção, são apresentadas as diferentes atividades realizadas pelo operador durante a mudança de molde, identificada a duração de

diferentes mudanças de ferramenta e mapeado, detalhadamente, o processo de *setup*. A Labina, durante o período de realização do projeto, operou a três turnos, cinco dias por semana. Excepcionalmente, a empresa esteve em funcionamento durante o fim de semana. Em complemento à análise dos tempos de paragem, nesta fase, foram determinados os custos inerentes a estas paragens.

4.2.1 Mapeamento do processo de *setup*

O mapeamento do processo permite ter uma perspetiva abrangente do processo de mudança de molde antes de se realizarem quaisquer estudos relativos ao tempo que cada operação demora. Desta forma, foi possível ao investigador compreender cada uma das etapas do processo e perceber as relações existentes entre elas, facilitando, posteriormente, o processo de análise e estudo dos tempos de *setup*.

Na Labina, o processo iniciava-se, geralmente, com a deslocação do operador à serralharia para levantar o molde que seria instalado na máquina. Estando o molde próximo da máquina o operador reunia as ferramentas que considerava necessárias para o *setup*. A partir deste momento estavam reunidas as condições necessárias para iniciar o processo e, por isso, dava-se a paragem da máquina e o operador ia buscar a ponte, Figura 20, e conectava a mesma à argola do molde. Dependendo do sistema de alimentação de alumínio o operador retirava a caleira, Figura 21, e retirava os parafusos de fixação das cavilhas.



Figura 20 - Ponte para transporte do molde

Seguia-se a abertura da máquina e a remoção dos calços de fixação da parte fixa do molde. Caso existissem, deviam, também, ser removidos quais quer manguieiras do circuito de água ou do circuito de óleo. Removeu-se o molde da máquina e, com recurso à ponte, o molde era colocado numa palete livre, previamente colocada junto da máquina. Passando para o lado móvel do molde, o gancho da ponte era conectado à argola, Figura 22, e os calços de fixação eram retirados. De seguida, eram desapertadas as cavilhas e, se estivessem instaladas, retiravam-se as manguieiras dos circuitos de água e de óleo e colocava-se a parte móvel do molde na palete.



Figura 21 - Alimentação de alumínio por caleira

Com o molde fora da máquina, o centro de injeção e os repetitivos calços eram retirados e limpos, o porta-pistão era retirado e substituíam-se o pistão. Na máquina era, então, ajustada a altura de injeção e o centro de injeção era colocado conforme a posição do novo molde. Caso necessário, era substituído o aumento do porta-pistão. Esta operação apenas se realizava quando os moldes possuíam comprimentos de injeção diferentes para a mesma máquina.

Posteriormente, iniciava-se a instalação do novo molde na máquina. Desta forma, com o auxílio da ponte, o lado fixo do molde era colocado na máquina. Caso o molde tivesse circuitos de água e óleo, as mangueiras eram devidamente instaladas e apertadas. Não havendo necessidade de mangueiras, estas eram vedadas e arrumadas. De seguida, eram colocados e apertados os calços de fixação.



Figura 22 - Ponte conectada ao molde

Com a parte fixa devidamente instalada, o operador procedia com a colocação do lado móvel do molde na máquina. Para isto, com recurso à ponte, transportava o molde até à máquina, onde eram instaladas as mangueiras dos circuitos de água e de óleo. Com a parte móvel devidamente encaixada na parte fixa, a máquina fechava de forma a ajustar a altura do molde. Posto isto, as cavilhas ou hastes, eram colocadas e os calços de fixação do lado móvel apertados. Com o molde instalado na máquina, o operador ajustava a posição do forno, colocava o porta-pistão e, quando o sistema de alimentação de alumínio não era por colher ou pipeta, instalava a caleira. Se o sistema de alimentação de alumínio for

a pipeta, Figura 23, esta devia ser calibrada de forma a introduzir a quantidade de alumínio ideal para a peça a injetar.

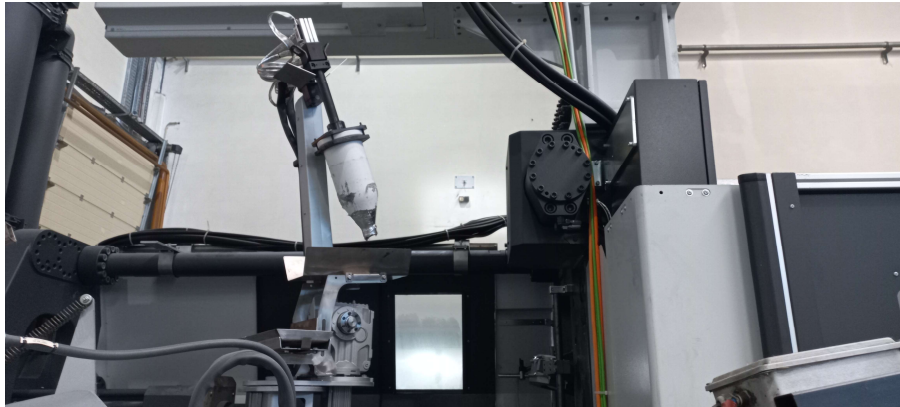


Figura 23 - Alimentação de alumínio por pipeta

Antes de se dar o arranque da máquina o operador carregava o programa associado à peça na máquina, ajustava a posição dos bicos da cabeça de lubrificação e carregava, também, o programa de lubrificação. Com recurso a um termostato ou a um maçarico, o molde começava a aquecer e, nesse período, o operador calibrava e ajustava o braço *robot*, Figura 24, e atualizava o sistema de fotocélulas.



Figura 24 - Braço robot

Apenas após estas operações e com o molde aquecido procedia-se com o arranque da máquina. No Apêndice 3, é possível ver de forma gráfica o mapeamento de todas estas operações, de forma a melhor compreender a ordem pela qual são realizadas as diferentes atividades.

4.2.2 Identificação dos tempos de *setup*

Identificados os processos e operações inerentes ao *setup*, foi iniciada uma análise ao tempo que diferentes mudanças de molde demoravam. De forma a facilitar a identificação de todas as operações e análise do tempo despendido nas mesmas, as medições efetuadas foram filmadas com recurso a um telemóvel. No total apenas foram realizadas quatro medições. Com base no estudo dos tempos-padrão,

este valor não era suficiente para corretamente analisar o processo de *setup*, uma vez que o valor recomendado foi de 113 medições.

A partir das medições realizadas foi possível determinar que o tempo médio de duração do *setup* era de 2h30m. Este valor aproximado refletia o tempo que demorava a instalar o molde na máquina e uma previsão do tempo que demorava a programar e calibrar a máquina e respetivos periféricos. No Apêndice 4 é possível ver a discriminação das atividades desenvolvidas em alguns exemplos dos registos desenvolvidos. A Tabela 4 resume as atividades realizadas pelos operadores durante os diferentes *setups*.

Tabela 4 - Operações realizadas durante o *setup*

Tarefas
Ir buscar molde á serralharia
Reunir ferramentas necessárias
Ir buscar ponte
Retirar caleira
Limpar caleira
Retirar parafusos das cavilhas
Desapertar calços de fixação
Retirar mangueiras
Ir buscar palete
Colocar parte fixa na palete
Retirar cavilhas
Colocar parte móvel na palete
Apanhar calços do chão
Retirar centro de injeção da camisa
Retirar calços e centro de injeção
Ajustar altura do porta-pistão
Retirar porta-pistão
Ir buscar aumento do porta-pistão
Colocar aumento do porta-pistão
Colocar calços e centro de injeção
Ir buscar parte fixa do molde
Fazer mangueiras novas
Colocar mangueiras
Vedar mangueiras
Arrumar mangueiras
Colocar parte fixa na máquina
Apertar calços de fixação
Ir buscar lado móvel do molde
Colocar parte móvel do molde
Ajustar altura do molde
Colocar cavilhas

Fixar cavilhas
Ajustar altura do lubrificador do pistão
Ajustar posição do forno
Colocar porta-pistão
Carregar programa da pipeta
Colocar caleira
Carregar programa de afinação da máquina
Programar lubrificador
Ajustar posição dos bicos de lubrificação
Aquecer molde
Programar <i>robot</i>
Ajustar posição do braço robot à bolacha do <i>jito</i>
Ajustar fotocélulas

4.3 Analyse

Identificados os processos e as operações efetuadas pelos operadores responsáveis pelo *setup*, segue-se a fase *analyse* do ciclo DMAIC. Nesta etapa foram analisadas as atividades identificadas anteriormente, de forma a detetar desperdícios. As perdas de tempo durante o *setup* foram convertidas em custos, com o objetivo de quantificar o peso económico das paragens para a empresa. Analisado o estado atual, os problemas identificados foram aglomerados num diagrama *Fishbone* e, posteriormente, inseridos num *Potential Problem Analysis* (PPA). Nesta tabela, os problemas foram priorizados em termos de severidade e de ocorrência, de forma a orientar o projeto para os problemas mais críticos.

4.3.1 Análise das tarefas realizadas

Conforme identificadas no tópico anterior, o operador realizava um conjunto de operações durante o processo de *setup*. No âmbito da metodologia SMED, foi necessário avaliar se as atividades realizadas pelo operador eram efetuadas com a máquina parada ou em funcionamento. De acordo com o referido na secção 2.1.5.4 deste documento, as operações realizadas com a máquina em funcionamento são designadas por atividades externas e, quando a máquina se encontra parada, denominam-se por atividades internas. Avaliando as tarefas mencionadas na anterior Tabela 4 obtem-se o resultado apresentado na Tabela 5. De modo a simplificar a leitura da tabela utilizaram-se letras identificativas do tipo de atividade realizada. A letra “I” corresponde a atividades internas e a “E” refere-se a externas.

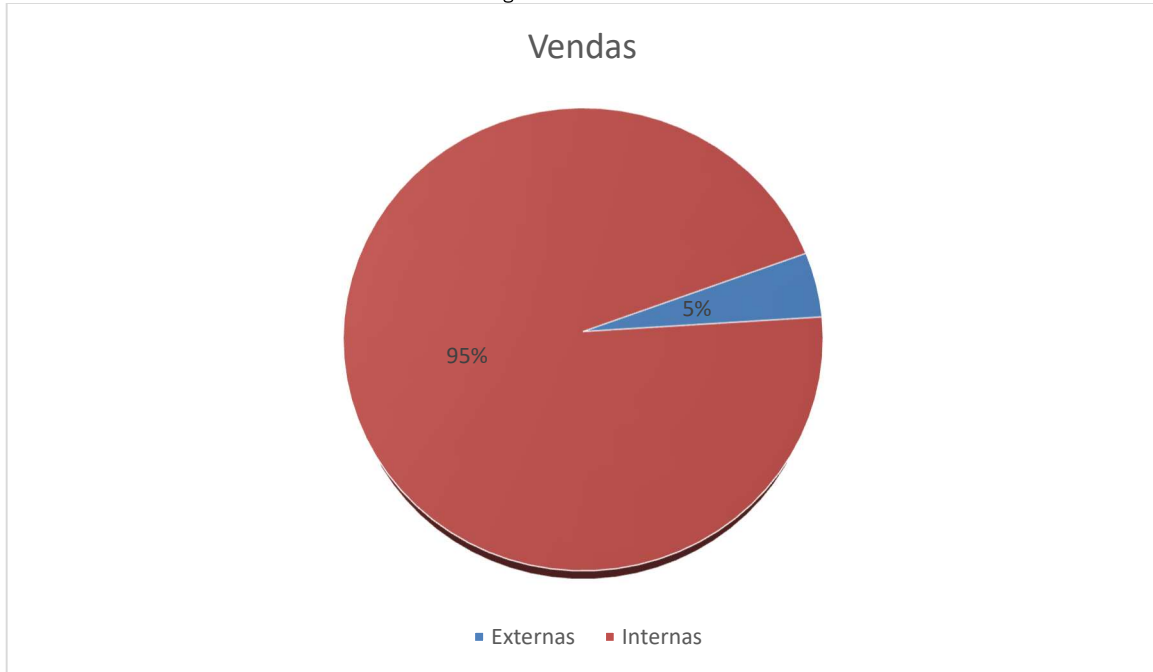
Tabela 5 - Análise das atividades como externas (E) ou internas (I)

Tarefas	Tipologia
Ir buscar molde à serralharia	E
Reunir ferramentas necessárias	E
Ir buscar ponte	I

Retirar caleira	
Limpar caleira	
Retirar parafusos das cavilhas	
Desapertar calços de fixação	
Retirar mangueiras	
Ir buscar palete	
Colocar parte fixa na palete	
Retirar cavilhas	
Colocar parte móvel na palete	
Apanhar calços do chão	
Retirar centro de injeção da camisa	
Retirar calços e centro de injeção	
Ajustar altura do porta-pistão	
Retirar porta-pistão	
Ir buscar aumento do porta-pistão	
Colocar aumento do porta-pistão	
Colocar calços e centro de injeção	
Ir buscar parte fixa do molde	
Fazer mangueiras novas	
Colocar mangueiras	
Vedar mangueiras	
Arrumar mangueiras	
Colocar parte fixa na máquina	
Apertar calços de fixação	
Ir buscar lado móvel do molde	
Colocar parte móvel do molde	
Ajustar altura do molde	
Colocar cavilhas	
Fixar cavilhas	
Ajustar altura do lubrificador do pistão	
Ajustar posição do forno	
Colocar porta-pistão	
Carregar programa da pipeta	
Colocar caleira	
Carregar programa de afinação da máquina	
Programar lubrificador	
Ajustar posição dos bicos de lubrificação	
Aquecer molde	
Programar <i>robot</i>	
Ajustar posição do braço <i>robot</i> à bolacha do <i>jito</i>	
Ajustar fotocélulas	

Analisando a Tabela 5 pode-se observar que a maioria das atividades realizadas pelo operador eram consideradas internas, Tabela 6.

Tabela 6 - Percentagem de atividades internas e externas



Este facto constitui um problema para a melhoria dos tempos de *setup* conforme é indicado mais à frente neste capítulo.

Todas as operações realizadas pelo operador, no âmbito da mudança de molde, constituíam um desperdício, na medida que o cliente não identificava as mesmas como atividades de valor acrescentado. Neste sentido, foi essencial definir como objetivo a conversão do maior número de atividades internas em externas e na eliminação do maior número de atividades não necessárias possíveis. Estes problemas são explicitados detalhadamente na secção 4.3.3..

4.3.2 Custos por perda de oportunidade

Em complemento à análise de tempos de *setup*, foi relevante compreender o impacto destas paragens a nível financeiro para a Labina. Devido ao vasto leque de artigos injetados na empresa foram usados valores médios relativos ao custo de cada artigo e ao tempo de ciclo de cada referência, de forma individual para cada máquina. Por motivos de confidencialidade e proteção de dados, os valores referentes a custos e tempos de ciclo não podem ser disponibilizados, assim usaram-se os dados da referência da Tabela 7.

Tabela 7 - Dados de referência na análise de custos

Preço Médio dos Artigos	Tempo de Ciclo Médio (s)
1,64 €	55

Com os dados da Tabela 7 e considerando que, a cada injeção são retiradas 4 peças foram analisados os custos por perda de oportunidade dos quatro registos apresentados anteriormente. A Tabela 8 apresenta o tempo de paragem dos ensaios referidos. Para os cálculos de custos de oportunidade, assumiu-se que os dados seguiram uma regressão linear.

Tabela 8 - Estudo dos custos para os ensaios analisados

	Tempo de Paragem (min)	Custo de Oportunidade
1º Registo	102	732,44 €
2º Registo	160	1148,96 €
3º Registo	203	1457,72 €
4º Registo	165	1184,84 €

Em complemento ao estudo realizado, foram reunidas as paragens totais declaradas para cada mês do primeiro semestre de 2022. A partir desta análise foi possível compreender o peso mensal das paragens para mudança de molde. A Tabela 9 reúne as informações das paragens totais nos primeiros seis meses de 2022 e, obtidos da mesma forma que os ensaios anteriores, apresenta os custos por perda de oportunidade do referido período. Com base nestes dados, estimou-se uma perda média de 60 853,75 € por mês o que, assumindo a linearidade dos dados, correspondia a uma perda média de cerca de 730 000€ no ano de 2022.

Tabela 9 - Estudo dos custos mensais

	Tempo de Paragem (min)	Custo de Oportunidade
Janeiro	7143	51 293,52 €
Fevereiro	11460	82 293,68 €
Março	8513	61 131,40 €
Abril	6526	46 862,88 €
Mai	8375	60 140,44 €
Junho	8829	63 400,60 €

Os dados relativos às paragens usados nestes ensaios encontram-se no Apêndice 5. No âmbito do estudo realizado, para o cálculo do tempo de paragem total foram usados os tempos de *setup* e os tempos de mudança de ferramenta, uma vez que a empresa distinguia estas duas fases por serem realizadas por operadores diferentes.

4.3.3 Identificação dos problemas

Concluída a identificação e análise do processo de mudança de molde, segue-se o levantamento e identificação dos principais problemas encontrados durante o processo de *setup*, de forma a ser possível, posteriormente, desenvolver ações de melhoria. Desta forma, foi desenvolvido um *brainstorming* ao processo de mudança de molde com o departamento de produção de forma a identificar o maior número de problemas associados ao *setup*.

Estes problemas foram organizados num diagrama de *Fishbone*, Apêndice 6, e foram divididos segundo seis categorias: materiais, métodos, medição, meio ambiente, máquinas e recursos humanos. Posteriormente, na secção 4.3.4, foram aglomerados os problemas num *Potential Problem Analysis* (PPA), no qual foram identificadas as causas dos problemas e os potenciais efeitos dos mesmos. Foi, também, definida uma escala de severidade e de ocorrência, de modo a priorizar os problemas a partir do produto destes dois fatores. No Apêndice 7 é possível encontrar a primeira fase do PPA, bem como as escalas usadas para determinar os valores de severidade e de ocorrência.

4.3.3.1 Falta de pistão

Durante a análise e acompanhamento realizados ao processo de mudança de molde, a ocorrência de falta de pistão manifestou ser um problema com frequente ocorrência. A falta deste componente obrigava a que a máquina ficasse parada durante o período em que o pistão era requisitado pelo operador à serralharia até ao momento que o operador o ia levantar. Este processo, Figura 25, podia levar a paragens de até quinze minutos, devido a todo o processo de pedido, maquinação e levantamento do novo pistão, bem como todas as deslocações do operador à serralharia.

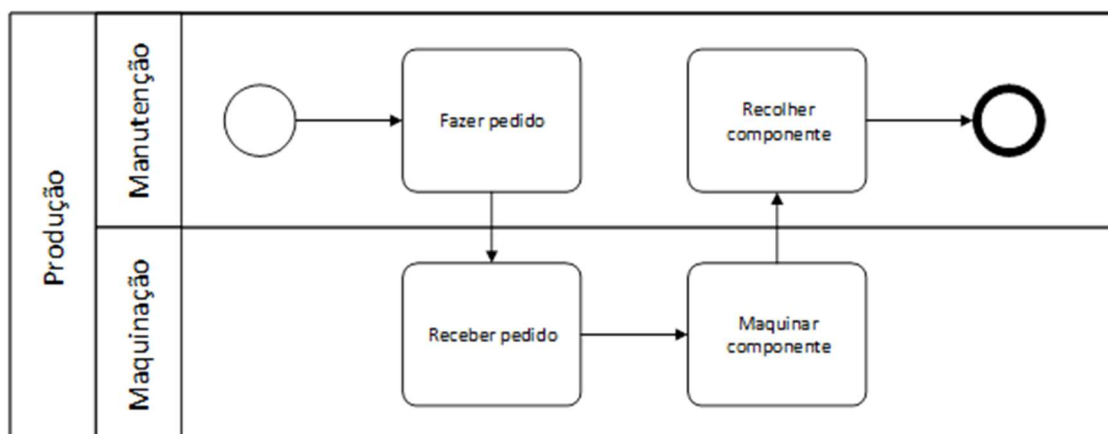


Figura 25 - Fluxo do pedido de pistão

A partir do diálogo com os operadores, foi possível identificar que a principal causa para este problema era a falta de um sistema de controlo do inventário dos pistões, isto é, os operadores retiravam o pistão que necessitavam e não havia nenhum registo ou informação dessa recolha. O acumular desta ocorrência levava a que o stock de pistões ficasse a zero e a máquina ficasse parada à espera de pistão.

4.3.3.2 Falta de ferramentas

Como referido na identificação das operações realizadas pelo operador havia falta de ferramentas no momento da mudança. Assim, numa fase inicial do processo foi feito o levantamento das ferramentas necessárias para perceber porque é que isto acontecia e identificaram-se três causas principais.

Primeiramente, a falta de ferramentas ocorria por falta de um documento de instruções de trabalho no qual estivessem especificadas todas as ferramentas necessárias na realização do *setup* e indicado o local em que as mesmas se encontravam. Desta forma, aquando do levantamento das ferramentas, o operador acabava por não levar consigo todo o material necessário e ter de abandonar o posto de trabalho entre 10 e 15 vezes para levar ferramentas em falta.

Em segundo lugar, quando o processo de mudança de molde era realizado por dois operadores, não existiam ferramentas para ambos. Este acontecimento levava a que, sempre que ocorria um *setup* com dois operadores, um deles ficasse parado à espera de que o colega de trabalho libertasse a ferramenta. Apesar de haver atividades que podiam ser realizadas em paralelo existiam outras que, devido a precedências, não podiam ser realizadas, o que prolongava a paragem da máquina. Este problema era recorrente aquando do aperto dos calços de fixação de ambos os lados do molde.

Por fim, e como terceira causa, devido a falta de espaço na proximidade da máquina, o operador não conseguia ter todas as ferramentas necessárias ao seu alcance e, por isso, necessitava de realizar entre 15 e 20 movimentações em torno da máquina para levantar ferramentas que necessitava. Todas estas pequenas movimentações em torno da máquina durante o período de mudança de molde resultavam em paragens superiores a um minuto. Apesar de um minuto parecer pouco, no âmbito da metodologia SMED, apresenta um impacto significativo, uma vez que estão diretamente relacionadas com um dos desperdícios identificados na secção 2.1.3.

Estas causas relacionadas com a falta de ferramentas de trabalho prolongavam a paragem da máquina e, uma vez que eram atividades internas, deviam ser reduzidas.

4.3.3.3 Falta de calços de fixação

Na montagem do molde, uma das atividades que apresenta maior impacto no tempo total do processo é a instalação e aperto dos calços de fixação. Os calços de fixação, Figura 26, eram compostos por duas partes, sendo que uma delas, a placa de fixação, era *standard* a todas as máquinas e moldes e a segunda, o calço de fixação, variava de molde para molde. Apesar de o processo de aperto destes calços ser bastante demorado e fisicamente exigente, a falta de calços de fixação na medida correta do molde era algo que ocorria em todos os *setups*.

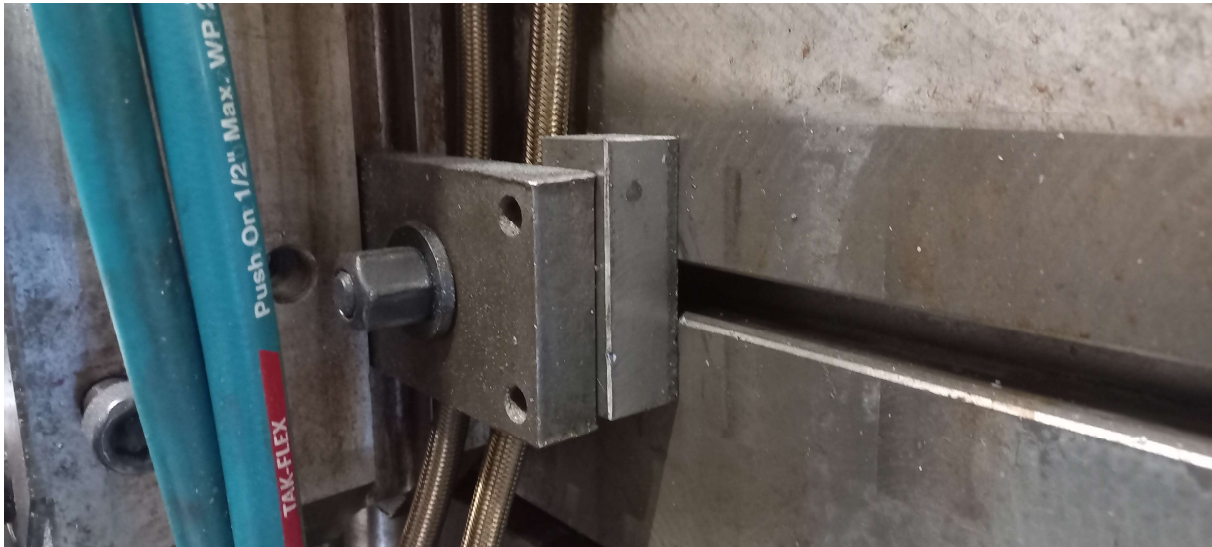


Figura 26 - Calço de fixação correto

Por este motivo, o operador era forçado a sair do seu posto de trabalho e a procurar um calço de fixação que se ajustasse à medida do molde, contudo nem sempre existia um calço apropriado e, por isso, o operador, por tentativa erro, procurava uma anilha ou outro objeto que compensasse a diferença de altura do calço de fixação, Figura 27. Para além do tempo despendido, este procedimento provocava instabilidade na posição do molde, sendo que aumentava a probabilidade de o molde cair da máquina.

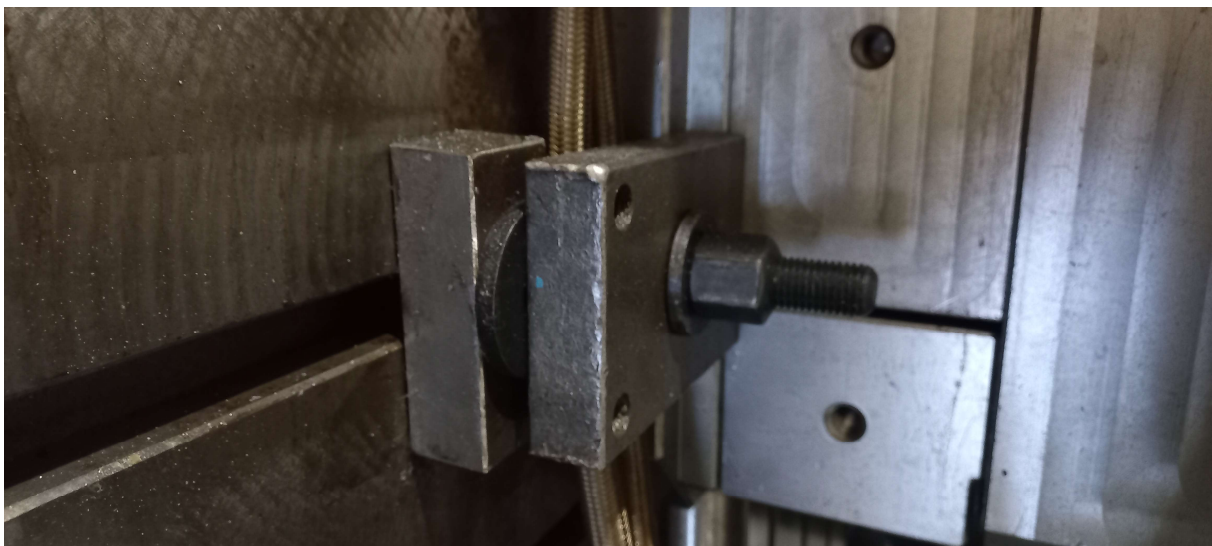


Figura 27 - Calço de fixação com anilha

Este problema ocorria, principalmente, devido a falta de instruções e *standard* de trabalho, uma vez que não existia nenhum documento no qual se encontrassem especificadas as medidas dos calços de fixação para os diferentes moldes.

4.3.3.4 Falta de aumento do porta-pistão

Dependendo de cada molde e de cada máquina, os comprimentos de injeção variavam devido a quatro fatores:

- Comprimento da camisa;
- Comprimento do pistão;
- Comprimento do porta-pistão;
- Comprimento do aumento do porta-pistão.

A maioria dos parâmetros referidos apresentavam comprimentos fixos, contudo, para compensar os diferentes comprimentos de injeção, os aumentos de porta pistão, Figura 28, apresentava inúmeras dimensões. Estes dados não se encontravam parametrizados, nem estavam disponíveis para acesso pelo operador quando necessário e, por isso, o mesmo, quando existia alteração do comprimento de injeção, necessitava de abandonar o posto de trabalho para medir o comprimento de injeção e procurar um aumento de injeção que se adequasse às necessidades.

Contudo, nem sempre existia disponível um aumento do porta-pistão e, nessas situações o operador recorria a um aumento de porta-pistão mais pequeno e compensava a diferença de comprimento com anilhas. Por vezes, o operador necessitava de pedir um novo aumento do porta-pistão e, nesta situação, a máquina ficava parada durante o período em que o aumento do porta-pistão era maquinado.

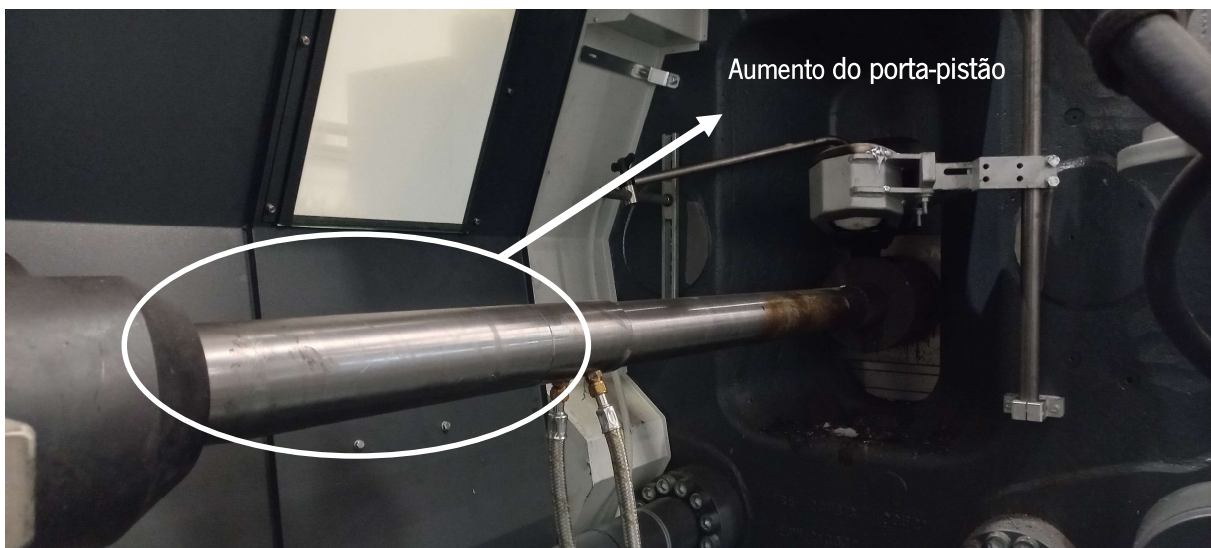


Figura 28 - Porta-pistão

4.3.3.5 Arranque demorado da máquina

Após o molde estar devidamente montado na máquina era iniciado o processo de arranque da mesma. Este processo, conforme mencionado anteriormente, consistia no aquecimento da máquina e na calibração e ajuste da mesma e dos respetivos periféricos. Devido a falta de registo de informação e a

falta de instruções de trabalho, operações de calibração e ajuste eram realizadas a partir da experiência do operador e eram refeitas quando necessário para que as peças saíssem em conformidade técnica. Este modo operatório provocava elevada variabilidade no processo e, no caso do estudo dos tempos, aumentava o tempo despendido nestas operações devido ao retrabalho. Apesar de todas as máquinas e periféricos estarem equipadas com *software* e *hardware* próprio para a calibração da maioria das suas especificações, a maior parte das operações de calibração e ajuste da máquina eram realizadas, repetidamente, em todas as mudanças de molde.

Outra atividade deste processo que contribuía para a inatividade das máquinas era o aquecimento do molde. Este acontecimento deve-se ao facto de o molde apenas ser aquecido após estar montado na máquina e devido ao processo de aquecimento existente. Apesar de na Labina existirem termorreguladores, nem todos os moldes que se encontravam em circulação estavam capacitados para serem aquecidos por termorregulação e, por isso, a empresa recorria a maçaricos para tentar assegurar a temperatura ótima do molde para o arranque da máquina, Figura 29. Ao aquecer o molde a partir deste método, não só se aumentava a variabilidade da temperatura do molde como se demorava mais tempo a alcançar as temperaturas necessárias. Ocasionalmente, através de informação fornecida pelo departamento de produção, o processo de aquecimento do molde com recurso a maçarico demorou cerca de cinco horas.



Figura 29 - Aquecimento do molde com maçarico

4.3.3.6 Elevado número de atividades sem valor acrescentado

Conforme mencionado anteriormente nesta secção, o operador, durante o *setup*, realiza muitas movimentações em torno da máquina e abandonava o seu posto de trabalho para ir buscar ferramentas

em falta. Estas deslocações, conforme mencionado na secção 2.3.1, são um desperdício e têm de ser minimizadas ou, se possível, eliminadas.

Para além das deslocações do operador, existia um conjunto de movimentações que ocupavam a maior parte do tempo despendido no *setup*, estas movimentações referiam-se às operações de aperto dos calços de fixação e, principalmente, ao aperto das mangueiras correspondentes aos circuitos de água e de óleo. A partir da análise dos registos apresentados foi possível identificar que a taxa de esforço que esta atividade apresentava relativamente ao tempo total despendido na mudança de molde corresponde a 34%.

4.3.3.7 Atividades externas realizadas como internas

Na secção 4.3.1, foram identificadas as atividades realizadas e categorizadas como internas e externas. Contudo, existiam atividades que eram realizadas internamente, com a máquina parada, e que podiam ser convertidas em externas, Tabela 10. Esta conversão é possível, uma vez que as operações identificadas correspondem ao processo de preparação que o operador deve realizar antes de iniciar a mudança de molde. Este processo consiste em reunir todas as ferramentas e equipamentos necessários para a execução do *setup*. Em particular, a limpeza da caleira deve ser retirada, uma vez que é competência do operador da máquina manter a mesma limpa, não devendo ser o responsável pela mudança de molde a efetuar esta atividade. Desta forma, seria possível reduzir o tempo que a máquina se encontrava parada durante o *setup*.

Tabela 10 - Atividades internas que podem ser convertidas em externas ou eliminadas

Tarefas
Ir buscar ponte
Limpar caleira
Ir buscar palete
Ir buscar aumento do porta-pistão
Fazer mangueiras novas

4.3.4 Síntese dos problemas e severidade

Com base nos problemas identificados e, segundo uma das ferramentas da metodologia LSS, foi contruída uma tabela que permite aglomerar os diversos problemas, bem como as suas potências causas, assim, foi desenvolvido um PPA, Apêndice 7, que, não só possibilitou analisar os diferentes problemas, em termos de causas prováveis e efeitos associados, como, também, permitiu priorizar os problemas através de uma escala de severidade e de ocorrência. O valor de prioridade foi definido pelo produto da severidade do problema e da ocorrência do mesmo. Neste projeto, foi considerado como

relevante para estudo todos os problemas com prioridade igual ou superior a 35. Para definir com rigor os parâmetros severidade e ocorrência, foram definidas as escalas apresentadas, respectivamente, na

Tabela 11 e

Tabela 12.

Tabela 11 - Escala da severidade

Severidade	
Paragem inferior a 2 min	1
Paragem entre 2 min e 5 min	3
Paragem entre 5 min e 15 min	5
Paragem entre 15 min e 30 min	6
Paragem entre 30 min e 60 min	7
Paragem superior a 60 min	9

Tabela 12 - Escala da ocorrência

Ocorrência	
Todas as mudas mais que uma vez	9
Todas as mudas pelo menos uma vez	7
Com regularidade	6
Casualmente	5
Raramente	3
Exceccionalmente	1

5. APRESENTAÇÃO DAS PROPOSTAS DE MELHORIA

Neste capítulo é introduzida a fase *Improve* do ciclo DMAIC. Nesta fase são apresentadas todas as propostas de ações de melhoria e exploradas as medidas que apresentaram mais relevo para o projeto e que foram efetivamente desenvolvidas. Identificados os principais problemas existentes no processo de *setup*, foram identificadas as oportunidades de melhoria e, as mesmas, foram organizadas segundo o diagrama de afinidades apresentado na Figura 30.

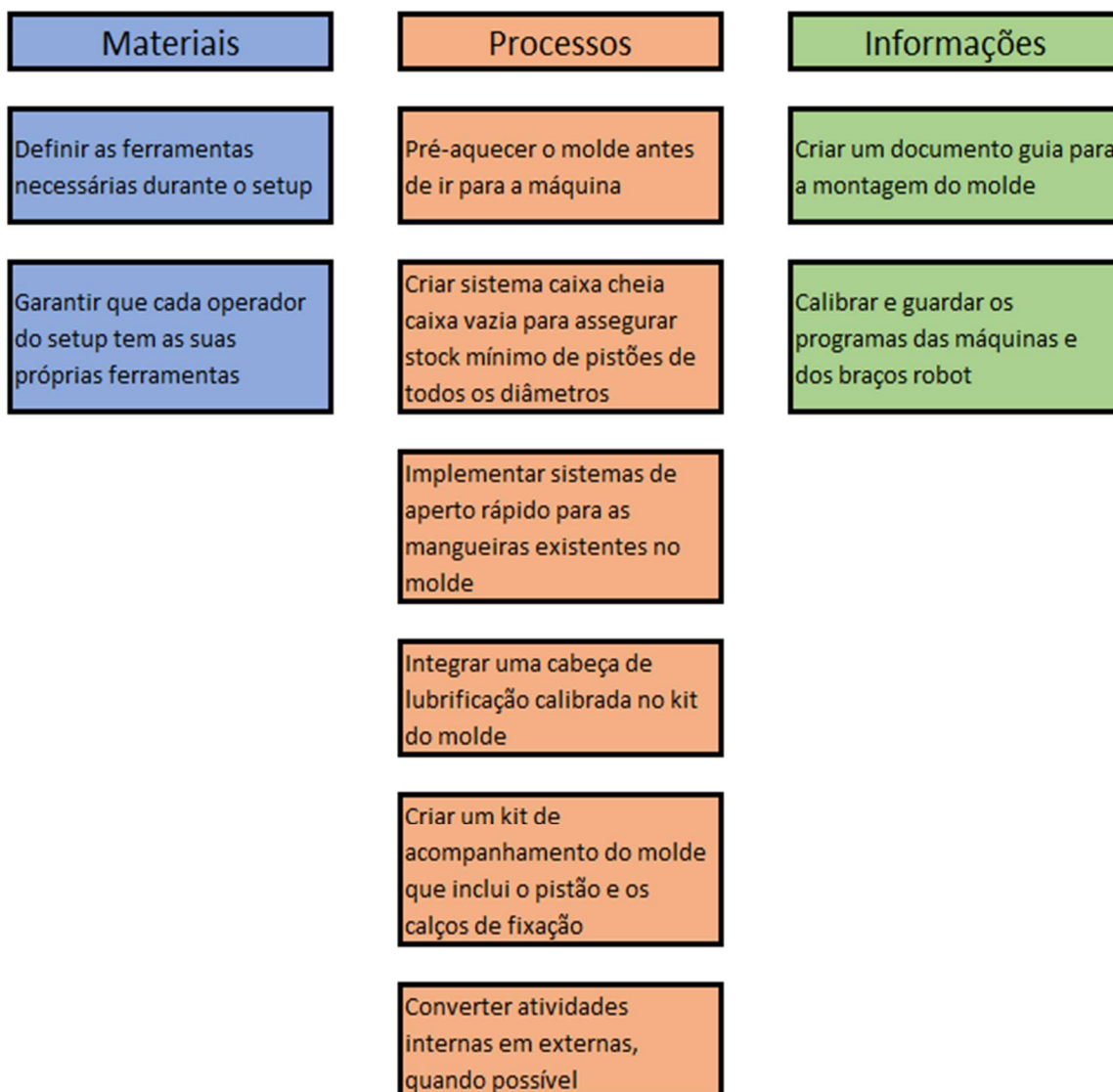


Figura 30 - Diagrama de afinidade processo de *setup*

As propostas de ação de melhoria foram divididas em três categorias: materiais, processos e informações.

Conforme identificado pela designação das categorias, as ações de melhoria associadas aos materiais procuraram colmatar a falta registadas das diferentes ferramentas e materiais, as medidas relativas aos processos e informações procuraram uniformizar e standardizar os mesmos para evitar desperdícios e tornar o processo mais *Lean*, garantindo que existia documentação de suporte para todas as atividades e que todas as ferramentas e operações se encontravam discriminadas e especificadas para que todos os operadores tivessem acesso às mesmas. Desta forma, procurou-se diminuir os tempos de *setup* e facilitar o trabalho para os operadores, assegurando que a procura era satisfeita e a qualidade aumentava.

De forma a distinguir o potencial das diferentes ações de melhoria, foi desenvolvido uma matriz de esforço-benefício no qual as diferentes oportunidades de melhoria foram diferenciadas. Para realizar esta categorização foi desenvolvida a escala apresentada no Apêndice 8. A partir desta escala foi realizado o produto do benefício e do esforço, obtendo-se um valor de prioridade. Quanto maior este valor maior o potencial da ação de melhoria e menor o esforço que a mesma requer. Estas ações de melhoria foram também incluídas numa segunda fase do PPA, Apêndice 7, de forma a compreender quais os problemas que estas visavam resolver.

Identificadas e categorizadas as possíveis ações de melhoria, foram selecionadas as que se encontravam relacionadas com os objetivos da empresa para serem desenvolvidas e, no longo prazo, implementadas. Nos tópicos seguintes, estas ações de melhoria são analisadas individualmente.

5.1 Criação de um documento guia para a montagem do molde

Na secção 4.3.3, foram identificados problemas com origem na falta de informação relativa a aspetos técnicos da máquina e do molde e o impacto desta nos tempos de *setup*. De forma a solucionar este problema, foi criado um documento informativo capaz de reunir todas as informações relevantes para o molde. Para o desenvolvimento deste documento, os operadores responsáveis pelas mudanças de molde foram questionados relativamente aos dados essenciais para executar as suas atividades sem interrupções e destacaram os seguintes dados:

- Posição do centro de injeção para cada máquina;
- Diâmetro do pistão em milímetros;
- Comprimento do aumento do porta-pistão em milímetros.

Atendendo às necessidades dos operadores e às especificações essenciais do molde, requisitadas pela administração, foi desenvolvido o documento apresentado no Apêndice 9. Neste documento serão

preenchidas as informações relativas á posição do centro de injeção, dos calços de nível do centro de injeção, do diâmetro do pistão, do comprimento do aumento do porta-pistão, o comprimento da camisa do molde, o comprimento da máquina, o comprimento do porta-pistão e a espessura dos calços de fixação de ambos os lados do molde.

Estes dados são essenciais durante a montagem do molde e o seu conhecimento prévio permite evitar paragens desnecessárias durante o *setup*. Outras informações técnicas relativas ao molde foram também adicionadas pelo departamento de serralharia de forma a, num único documento, aglomerar todos os dados necessários numa ficha técnica do molde. O exemplo apresentado no Apêndice 9, não se encontra preenchido, uma vez que os dados relativos aos moldes em que se pretende aplicar este projeto ainda não entram em utilização, pois correspondem a novos projetos a serem desenvolvidos na Labina.

Com este documento, pretendia-se que o operador deixasse de ter a necessidade de sair do seu posto de trabalho com a máquina parada para fazer medições desnecessárias e para ir buscar componentes que estavam em falta. Para além de ser uma forma fácil de reunir toda a informação de cada molde, este documento, possibilitava, também, ao operador comparar os dados do molde que estava em funcionamento com o molde que iria ser instalado na máquina, facilitando e melhorando o trabalho do operador quando existiam moldes com características iguais ou semelhantes. Desta forma é esperado que o tempo de *setup* possa diminuir em cerca de 30 minutos.

5.2 Criação de sistema “duas caixas”

No seguimento dos problemas mencionados na secção 4.3.3.1 e 4.3.3.3, nomeadamente a falta de pistões e a falta de calços de fixação, surgiu a necessidade de desenvolver um sistema que assegurasse a continuidade de stock disponível de ambos os artigos. Neste sentido, foi desenvolvido um sistema de duas caixas para cada tipo de pistão e de calço de fixação. Este sistema de controlo da produção *pull*, usa uma caixa vazia como alerta para a necessidade de maquinar novos pistões e calços de fixação e uma segunda caixa, já cheia, para evitar a rotura de stock, enquanto os pistões e os calços de fixação eram maquinados.

Para a implementação desta proposta, numa fase inicial foi realizado um levantamento dos diâmetros de pistão necessários na fundição, bem como a espessura dos calços de fixação. Os valores recolhidos desta análise foram inseridos na Tabela 13, apresentada abaixo.

Tabela 13 - Dados de diâmetro e espessura

Diâmetro do pistão	Espessura do calço de fixação
50 mm	36 mm
54 mm	46 mm
55 mm	
56 mm	
57 mm	
58 mm	
59 mm	
60 mm	
63 mm	
65 mm	
70 mm	
75 mm	
79 mm	
80 mm	
85 mm	
90 mm	
100 mm	

Compreendidas as medidas dos pistões e dos calços de fixação, foram analisados os tempos de ciclo, em minutos, da maquinação destes dois artigos, Tabela 14. Os valores médios de tempo de ciclo obtidos para a maquinação dos pistões e dos calços foi, respetivamente, 17 minutos e 6 minutos.

Tabela 14 - Análise tempo de ciclo

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	Média
Pistão	13 min	26 min	33 min	14 min	25 min	4 min	7 min	11 min	17 min
Calço	4 min	5 min	7 min	3 min	8 min	5 min	6 min	5 min	6 min

De seguida, foi analisado o consumo semanal de pistões e, a partir da informação recolhida juntos operadores responsáveis pelas mudanças de molde, conclui-se que o consumo médio semanal corresponde a um pistão de cada dimensão. Em relação aos calços de fixação, o consumo médio diário é de doze calços.

Tendo em consideração os tempos de ciclo determinados e os consumos referidos, foi definido que cada caixa devia conter quatro pistões, para os diferentes diâmetros, e 15 calços de fixação, para cada espessura. A partir do sistema “caixa cheia caixa vazia”, esperava-se que quando a caixa cheia presente no armazém de materiais consumíveis ficasse vazia, o operador responsável pelo aprovisionamento levasse essa caixa à serralharia e colocasse uma caixa cheia, novamente, no armazém. Enquanto estes novos artigos eram consumidos, os operadores da serralharia tinham tempo de maquinar novos pistões e calços de fixação, prevenindo, assim, as quebras de stock destes materiais.

5.3 Criação de um kit de acompanhamento do molde

No seguimento a ação de melhoria apresentada na secção anterior, 5.2, e, com o objetivo de suprimir a falta de calços de fixação e de pistões, foi desenvolvido um kit de acompanhamento do molde. Este kit devia conter o pistão necessário para a máquina e molde a que se destinava e um conjunto de quatro calços de fixação para o respetivo molde. Aquando do levantamento do molde, o operador responsável pela mudança do molde devia recolher uma caixa e fazer o levantamento de todos os elementos do kit. Este processo devia demorar entre dois e três minutos, uma vez que todos os elementos do kit se devem encontrar na mesma prateleira na serralharia. Desta forma, a montagem do kit deve ocorrer em todos os *setups*, sendo realizada antes da paragem da máquina.

Com esta ação pretendeu-se eliminar as anilhas e outros materiais para compensar a falta de calços próprios e as paragens da máquina por falta de pistão ou devido ao operador sair do seu posto de trabalho para procurar materiais.

5.4 Calibração e armazenamento dos programas das máquinas e dos *robots*

Conforme referido na secção 4.3.3.5, o arranque da máquina era um processo demorado, devido a ser necessário carregar os programas das máquinas, programar os braços *robots* e, por vezes, realizar reajustes na máquina, de forma que a injeção ocorresse sem problemas. Consequência do desgaste das máquinas e dos materiais, era necessário reajustar os programas das máquinas e dos braços robots e guardar esses mesmos programas.

Neste sentido, é proposto pelo investigador, realizar, no imediato, uma atualização de todos os programas das máquinas de injeção e respetivos periféricos. Esta calibração deve ser realizada pelos operadores responsáveis pela *setup* das máquinas, com o acompanhamento do coordenador de turno e de um representante do departamento de produção. Idealmente, esta intervenção deve ser feita à medida que são realizadas mudanças de molde. O representante do departamento de produção deve assegurar que os parâmetros ficam corretamente guardados no computador de controlo da máquina e num sistema de armazenamento externo, de modo a preservar, pelo menos, uma cópia de segurança dos programas de calibração.

Deste modo, era prevenido o retrabalho e o operador realizava mais rápida e eficazmente as suas tarefas, uma vez que apenas teria de carregar os programas nas máquinas. O desgaste dos materiais ocorria continuamente e, por isso, semestralmente, era também necessário realizar novos ajustes aos parâmetros das diferentes máquinas para os diversos moldes.

Todas as máquinas estavam equipadas com um computador de controlo que permitia programar e armazenar os dados e parâmetros necessários para o bom funcionamento da mesma. Esta ação de melhoria devia ser acompanhada de boas práticas de manutenção e conservação dos materiais e equipamentos, devendo, por isso, as máquinas serem devidamente acompanhadas e o plano de limpeza das mesmas executado e auditado.

5.5 Definição das ferramentas necessárias no *setup* e outros meios de apoio

Fruto da falta de ferramentas apresentada na secção 4.3.3.2, era necessário, ao documento apresentado na secção 5.1, anexar as ferramentas que o operador responsável pelo *setup* necessitava para realizar as suas tarefas. Neste sentido, foi realizado, com a ajuda dos operadores, uma listagem das ferramentas necessárias durante o desenvolvimento das suas operações, obtendo-se a lista apresentada:

- Chave de pancada: 30mm e 36mm;
- Chave de bocas: 13mm, 17mm, 19mm, 20mm, 27mm, 30mm, 32mm e 36mm;
- Chave inglesa de abertura até 22mm e 36mm;
- Chaves *Umbrako* de 1.5mm até 10mm longas sem bola
- Chaves *Umbrako* de 1.5mm até 10mm longas com bola de 12mm, 14mm, 17mm, 19mm, 22mm e 27mm;
- Chave de fendas de 3mm e de 6mm;
- Chave *Philips* PZ2;
- Roquete de ¼" com bit de 6mm, 7mm, 8mm, 9mm, 10mm, 12mm e 13mm;
- Roquete de ½" com bit de *Umbrako* de 1mm, 14mm, 17mm e 19mm;
- Alicates de pressão;
- Chave de canos de 2";
- Alicates universal de 200mm;
- Alicates universal de 150mm;
- X-ato;
- Serrote de cortar ferro;
- Rebarbadora de 115mm;
- Máquina de furar a baterias;
- Paquímetro de 160mm;
- Fita métrica de 3m;
- Nível magnético.

Estas ferramentas deviam estar registadas em inventário, a partir de uma lista normalizada com fotos, Anexo 1, e serem da responsabilidade dos operadores anexos às mudanças de molde. De forma a garantir que todas as ferramentas estavam organizadas e cuidadas, deviam ser realizadas auditorias bimensais. Uma vez que a maioria das ferramentas teria de ser adquirida, é esperado um custo de aquisição entre os 1000 e 1500 euros.

Em complemento a esta ação de melhoria, era necessário garantir que cada operador tivesse as suas ferramentas sempre disponíveis durante todo o *setup*. Desta forma, foi proposta que estes usassem carros de ferramentas, como o da Figura 31 para facilitar o transporte e a organização das diferentes ferramentas. A empresa já dispõe de carros próprios pelo que não seria necessária a aquisição deste equipamento.



Figura 31 - Carro de ferramentas
(Ferramenta Vitalicia, n.d.)

Para garantir que o operador não se esquecia de nenhuma ferramenta antes da paragem da máquina, o carro de ferramentas devia estar acompanhado de uma lista de verificação, Anexo 2, e devia ser preenchido semanalmente, uma vez que a aquisição das ferramentas apresenta um elevado esforço financeiro para a empresa.

Juntamente ao carrinho, o operador podia usar um cinto de ferramentas, como o da Figura 32, permitindo que as ferramentas estivessem, permanentemente, com ele durante o período que o mesmo

estivesse a trabalhar na máquina. Desta forma, o operador não precisava de transportar o carro de ferramentas em torno do seu posto de trabalho. Um cinto de ferramentas pode custar entre 15 e 30 euros dependendo da quantidade de ferramentas que permite transportar.



Figura 32 - Cinto de ferramentas
(*Manutan.Pt*, n.d.)

5.6 Implementação de sistemas de encaixe rápido nas mangueiras e pré-aquecimento de moldes

Na secção 4.3.3.6, foi identificada a existência de desperdícios nas atividades o, nomeadamente, em apertos de mangueiras dos circuitos de água e de óleo. Os sistemas de aperto rápido de mangueiras, como os da Figura 33, já são uma prática comum em várias empresas do mesmo setor de atividade da Labina.



Figura 33 - Engates rápidos
(*Shopee Brasil*, n.d.)

Os encaixes rápidos em aço inox apresentavam valores compreendidos entre os 50€ e os 100€, sendo que apresentavam um impacto anual para a empresa de entre 1000€ a 2500€, devido aos elevados custos de aquisição e de manutenção, pois necessitavam de ter elevada resistência térmica e mecânica. Esta melhoria, para além de agilizar todo o processo de *setup*, iria eliminar o processo de verificar o aperto das mangueiras e o retrabalho de as apertar quando necessário. É espectável poupar entre 30 e 60 minutos em cada mudança de molde, sendo por isso, esperado uma poupança de cerca de 350

euros em cada *setup*. Desta forma, após oito mudanças de molde, o investimento inicial é reavisto, sendo que a poupança restante permite fazer a correta manutenção dos engates rápidos.

Segundo o problema destacado na secção 4.3.3.5, o arranque da máquina era demorado. Esta demora de entre três e cinco horas não está apenas ligada ao carregamento de programas e calibração da máquina e dos seus periféricos, mas também ao processo de aquecimento do molde.

Neste sentido, foi possível pré-aquecer o molde na serralharia antes de o mesmo ir para a máquina. Esta melhoria acarretava os custos dos engates rápidos das mangueiras e o custo de instalar um termorregulador na serralharia, contudo, a redução significativa do tempo de *setup* poderia ser significativa como se verificar na secção seguinte. Com esta melhoria, os operadores que manobrem o molde deveriam usar as luvas apropriadas para superfícies quentes, uma vez que as luvas convencionais não apresentavam a proteção necessária para trabalhar com o molde quente. Os operadores das máquinas de injeção utilizam, frequentemente, estas luvas para manusear as peças acabadas de injetar devido a estarem a temperaturas elevadas.

5.7 Proposta de conversão de atividades internas em externas

À luz da metodologia SMED, uma das etapas para a redução do tempo de *setup* consiste na conversão das atividades internas em externas sempre que possível. Neste sentido, analisaram-se todas as tarefas desenvolvidas pelos operadores, conforme mencionado na secção 4.3.1, com o intuito de converter as atividades internas em externas. Em seguida, após a análise, foi elaborada a Tabela 15 na qual se expuseram todas as tarefas realizadas pelo operador, a tipologia inicial das mesmas, e a sua tipologia final. De modo a simplificar a leitura da tabela utilizaram-se letras identificativas do tipo de atividade realizada. A letra “I” corresponde a atividades internas, a “E” refere-se a externas e a palavra “Eliminar” equivale às atividades que podem ser extintas. Assim, a tabela permite averiguar as atividades onde se propõe uma conversão ou eliminação das mesmas, verificando-se a alteração da letra “I” na tipologia inicial da atividade, para “E” ou “Eliminar”, na coluna de conversão.

As atividades que correspondem a operações de preparação do espaço de trabalho, como aquelas onde o operador se desloca para levar a ponte e a paleta para o local de trabalho são tarefas que poderiam ser realizadas com a máquina em funcionamento, razão pela qual se propõe que estas atividades deixem de ser realizadas com a máquina parada e passem a ocorrer quando esta se encontra em funcionamento, como se verifica na tabela. Ademais, existem outras atividades nas quais se propõe a mesma alteração. A deslocação do operador para recolher o aumento de porta-pistão até à máquina e o

fabrico de novas mangueiras estão relacionadas com a falta de normalização de atividades. Neste sentido, sugere-se a utilização de uma folha de acompanhamento do molde, onde é espectável que estas atividades sejam realizadas antes de parar a máquina, de maneira a otimizar as tarefas.

Além das conversões referidas, propõe-se a eliminação da operação de limpeza da caleira, uma vez que, de acordo com a informação obtida pelo departamento de produção, esta atividade devia ser realizada pelo operador responsável pelo controlo operacional da máquina ao invés de ser realizada durante o *setup*. Desta forma, é essencial que o operador que verifica que existe falta de limpeza da caleira durante ou no final da utilização da máquina, reporte esta informação ao responsável de turno para que esta situação seja corrigida.

Neste sentido, ao realizar as alterações supracitadas é expectável que se verifique uma diminuição do tempo de paragem da máquina, uma vez que se propõe que algumas das atividades que eram realizadas com a máquina parada passem a ser efetuadas com a máquina em funcionamento ou sejam eliminadas.

Tabela 15 - Conversão das atividades internas em externas

Tarefas	Tipologia	Conversão
Ir buscar molde á serralharia	E	E
Reunir ferramentas necessárias	E	E
Ir buscar ponte	I	E
Retirar caleira	I	I
Limpar caleira	I	Eliminar
Retirar parafusos das cavilhas	I	I
Desapertar calços de fixação	I	I
Retirar mangueiras	I	I
Ir buscar palete	I	E
Colocar parte fixa na palete	I	I
Retirar cavilhas	I	I
Colocar parte móvel na palete	I	I
Apanhar calços do chão	I	I
Retirar centro de injeção da camisa	I	I
Retirar calços e centro de injeção	I	I
Ajustar altura do porta-pistão	I	I
Retirar porta-pistão	I	I
Ir buscar aumento do porta-pistão	I	E
Colocar aumento do porta-pistão	I	I
Colocar calços e centro de injeção	I	I
Ir buscar parte fixa do molde	I	I
Fazer mangueiras novas	I	E
Colocar mangueiras	I	I
Vedar mangueiras	I	I
Arrumar mangueiras	I	I

Colocar parte fixa na máquina		
Apertar calços de fixação		
Ir buscar lado móvel do molde		
Colocar parte móvel do molde		
Ajustar altura do molde		
Colocar cavilhas		
Fixar cavilhas		
Ajustar altura do lubrificador do pistão		
Ajustar posição do forno		
Colocar porta-pistão		
Carregar programa da pipeta		
Colocar caleira		
Carregar programa de afinação da máquina		
Programar lubrificador		
Ajustar posição dos bicos de lubrificação		
Aquecer molde		
Programar <i>robot</i>		
Ajustar posição do braço <i>robot</i> à bolacha do <i>jito</i>		
Ajustar fotocélulas		

De acordo com a Tabela 15, conclui-se então que as atividades de recolha da ponte, da palete, do porta-pistão e a montagem de mangueiras podem passar a ser realizadas como atividades externas e não como atividades internas e a atividade referente à limpeza da caleira pode ser extinta. Assim, prevê-se uma diminuição do tempo de paragem da máquina e, de igual forma, uma diminuição do tempo de *setup* tal como sugere a metodologia SMED.

5.8 Controlo das ações de melhoria

Na sequência do ciclo DMAIC, a última etapa desta metodologia é o controlo das ações de melhoria apresentadas. Neste sentido, durante a primeira semana, as mudanças de molde deviam ser acompanhadas e deviam ser cronometradas de forma a compreender o impacto real das ações de melhoria e a garantir que todas as atividades eram realizadas corretamente.

De modo a assegurar a atualidade dos dados contidos no documento de acompanhamento do molde, Apêndice 9, os dados deviam ser revistos e, se necessário, atualizados semestralmente, permitindo assim acompanhar as alterações mecânicas do molde provenientes das reparações e intervenções realizadas aos moldes.

De forma a garantir o bom funcionamento do sistema “duas caixas”, devia ser realizado, inicialmente, um acompanhamento visual semanal pelo supervisor de turno, com o objetivo de verificar se o operador

responsável pela gestão das caixas realizava esta atividade corretamente. Após o primeiro mês de utilização do sistema, o mesmo apenas necessitaria de ser auditado mensalmente, como forma de evitar que o sistema deixasse de ser utilizado. Caso o sistema não esteja a ser corretamente aplicado, deve ser reportado ao departamento de produção, de modo a regularizar a ocorrência.

A calibração e programação das máquinas e respetivos periféricos devia ser revista semestralmente pelos operadores de mudança de molde com o acompanhamento de uma representante da equipa de manutenção, com vista a responder ativamente ao desgaste mecânico das máquinas e permitir o bom e contínuo funcionamento dos aparelhos. Esta revisão devia ser realizada após o *setup*, antes de ser iniciado o arranque da máquina, e devia ser acompanhada de limpezas gerais semanais às máquinas e de limpezas mais cuidadas mensalmente. Estas limpezas facilitarão a deteção de anomalias nas máquinas e aumentarão a durabilidade e fiabilidade das mesmas.

Conforme apresentado na secção 5.4 e com base no Anexo 2, o documento de verificação das ferramentas devia ser preenchido, de forma a controlar a perda de ferramentas e garantir que todas as ferramentas se encontrassem devidamente mantidas. A *checklist* devia ser preenchida e assinada pelo superior de turno, como forma de validação da mesma.

Os encaixes rápidos deviam ser devidamente controlados de modo simultâneo ao molde. Sempre que o molde saía da máquina e seguia para a serralharia, os apertos rápidos deviam ser retirados, limpos e, se necessário, reparados. Quando a reparação não era possível deviam ser substituídos. Esta manutenção era extremamente importante devido às condições extremas em que os mesmos eram usados.

Por fim, com vista à realização correta da sequência de tarefas, devia ser realizado a cada duas semanas um controlo visual ao processo de mudança de molde, por um representante do departamento de produção. Esta auditoria interna permitiria ao diretor de produção controlar e assegurar o correto desenvolvimento das diferentes operações do processo de *setup* e deviam ser realizadas durante os primeiros dois meses após implementação das ações.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Durante o desenvolvimento do presente projeto, a empresa atravessa um período transitório em termos de produtos desenvolvidos. Neste sentido, os resultados desta dissertação deveram ser implementados com o arranque dos novos projetos da Labina. Devido a este objetivo da empresa, os resultados apresentados neste capítulo correspondem a valores esperados. Estes dados serão comparados com a situação atual da empresa e, conforme realizado na análise da situação presente, os resultados serão analisados em termos de tempo e convertidos para ganhos capitais.

6.1 Redução do tempo de *setup*

Após a implementação das ações de melhoria introduzidas no capítulo 5, é esperado um impacto significativo na redução do tempo de *setup*. Com as propostas realizadas, muitas atividades intermédias conseguem ser eliminadas ou realizadas com a máquina em funcionamento, diminuindo o tempo de paragem da máquina. As atividades mais críticas para o *setup*, como o aperto das mangueiras, o aquecimento do molde e o afinamento da máquina, que atualmente demoram entre 15 minutos e 45 minutos, é esperado que consigam ser realizadas entre 5 minutos e 10 minutos. A Tabela 16 permite comparar o tempo médio despendido atualmente em cada mudança de molde e o valor médio esperado para o *setup*.

Tabela 16 - Redução do tempo de setup

	Média atual	Valor esperado
Aperto de mangueiras	30 – 45 min	15 s
Carregamento de programas	60 – 90 min	300 s
Aquecimento do molde	2 - 3h	300 s
Tempo de <i>setup</i> total	158 min	76 min
Ganho percentual total	48%	

A partir da redução das operações de aperto de mangueira para um valor esperado de 15 segundos, de carregamento e afinação da máquina e periféricos para cerca de 300 segundos e o tempo de aquecimento do molde para menos de 300 segundos, o valor esperado para o *setup* passa de 158 minutos para 76 minutos, resultando numa redução de 48%.

6.2 Aumento da capacidade produtiva

Com a diminuição do tempo de *setup*, o tempo disponível para produção aumenta e, conseqüentemente, a cada mudança de ferramenta, a Labina ganha capacidade para produzir mais peças de diferentes artigos.

Tendo por base a redução de 82 minutos do tempo de *setup*, pode-se determinar o aumento de capacidade produtiva obtido. Considerando como referência o tempo de ciclo médio de 55 segundos, foi possível verificar que a empresa conseguiria produzir, por cada mudança de molde, cerca de mais 89 injeções. Este valor médio pode variar segundo o artigo que se vai começar a injetar.

O aumento de 89 injeções por *setup* pode representar um acréscimo de 89, 178, 356 ou 534 peças dependendo do número de cavidades do molde que se está a instalar.

Considerando que, desde o início do ano, em média, eram realizadas 64 mudanças de molde, poderá vir a ser ganhas 87 horas de produção. Assim, ao fim de um mês, a Labina, com a aplicação das ações de melhoria, poderia ser capaz de realizar mais 5 694 injeções.

Este ganho de capacidade produtiva pode ser traduzido em ganho capital. Assumindo um custo médio de 1,64€ por peça a receita mensal da empresa pode acender a mais 149 408€. Os proveitos mencionados foram organizados na Tabela 17.

Tabela 17 - Aumento da capacidade produtiva

	Proveito esperado
Injeções por setup	89
Média de peças por setup	356
Injeções por mês	5 694
Receita mensal	149 408€

6.3 Redução dos custos por perda de oportunidade

Outra vantagem retirada da diminuição do tempo de *setup* foi a redução dos custos por perda de oportunidade. Para a determinação desta despesa foi necessário considerar, novamente, um tempo de ciclo médio de 55 segundos e um custo por peça médio de 1,64€, tal como referido na secção 4.3.2..

Conforme indicado na secção 6.1, era esperado que o tempo de *setup*, com as propostas de melhoria, fosse de 76 minutos. Desta forma, o valor do custo de oportunidade poderia ascender a 135€ por mudança de molde. Mensalmente este valor seria de cerca de 35 000€. A Tabela 18 apresenta a

comparação entre o custo médio mensal por perda de oportunidade antes das ações de melhoria e o valor esperado após a implementação de todas as propostas, revelando, assim, uma redução de 57% do custo por perda de oportunidade.

Tabela 18 - Redução do custo de oportunidade

	Média atual	Valor esperado
Custo por perda de oportunidade	61 000€	35 000€
Ganho percentual	57%	

Em suma, com a implementação das ações de melhoria apresentadas no capítulo 5, é esperado uma redução de 48% do tempo de *setup*, um aumento significativo da capacidade produtiva que resultaria num aumento de 149 408€ de receitas e a diminuição de 57% dos custos por perda de oportunidade. Considerando que, com base no custo de aquisição dos diversos equipamentos e materiais apresentados ao longo da secção 5, a empresa necessitaria de realizar um investimento inicial de cerca de 25 000€ é expectável que obtenha um retorno sobre o investimento dentro do primeiro mês após implementação do projeto.

7. CONCLUSÃO

Neste capítulo constata-se os principais resultados deste projeto, bem como uma indicação de quais as ações que deveriam seguir os mesmos como sugestões para trabalho futuro.

7.1 Considerações finais

Este projeto de dissertação foi desenvolvido no contexto de melhoria contínua da Labina, de modo mais particular, incidiu sobre o processo de mudança de molde e o foi definido como principal objetivo a diminuição do tempo de *setup*.

Assim, segundo a metodologia de investigação *Action-Research* e com a aplicação de conceitos *Lean Thinking*, foi possível desenvolver um projeto *Lean Six Sigma* com a aplicação da metodologia SMED, a partir do qual foi possível identificar os principais problemas relacionados com o *setup* das máquinas de injeção, dos quais se destacam: falta de pistão, falta de ferramentas, falta de calços de fixação, falta de aumento do porta-pistão e arranque demorado da máquina.

Após a realização da fase de diagnóstico inicial onde é descrita a situação atual e os problemas encontrados, procedeu-se a elaboração de propostas de melhoria com o objetivo de minimizar o tempo de *setup*. Neste sentido foram apresentadas propostas no âmbito da aquisição de novas ferramentas e mecanismos que permitem à Labina reduzir o período despendido nesta atividade em cerca de 48%. Para além de ser possível alcançar o objetivo esperado, as ações de melhoria permitem diminuir em cerca de 57% os custos por perda de oportunidade e, em paralelo, aumentar, mensalmente, a capacidade produtiva em cerca de 5 694 injeções que, em média, originam um aumento nas receitas de cerca de 149 408€.

É relevante reforçar que todos os resultados apresentados correspondem a previsões, uma vez que devido à situação atual da empresa e segundo os presentes objetivos da mesma, as propostas de melhoria apresentadas neste projeto de dissertação não foram implementadas.

Durante o desenvolvimento do projeto foram ainda sentidas algumas dificuldades na captação e tratamento de dados. Na Labina, todos os dados são obtidos a partir do preenchimento de folhas de registo de produção. Estas fichas são preenchidas pelos operadores e, posteriormente, os dados são registados num ficheiro *Excel*. Este método de captação e tratamento dos dados está fortemente dependente dos operadores e, por este motivo, nem sempre os dados correspondem à realidade. Devido à ausência de um mecanismo de validação dos dados, tornou-se extremamente complexo extrair

informação relevante e fiável dos registos existentes. Outro fator que condicionou a desenvolvimento do projeto foi a duração das mudanças de molde. Devido a ser um processo longo e demorado, normalmente realizado no segundo turno, nunca foi possível acompanhar na integra o processo de *setup*, uma vez que, após as 17 horas, já podia permanecer na empresa, tendo sido necessário usar e confiar nas informações obtidas juntos dos operadores.

Por fim, ressaltar que, no decorrer deste projeto, foi possível consolidar os conhecimentos aprendidos na universidade, nomeadamente, a aplicação dos princípios *Lean Thinking*. De forma complementar, as tarefas realizadas que permitiram complementar não só o desenvolvimento profissional, mas também pessoal e social, imprescindíveis para aprimorar as *soft skills* e melhorar a adaptação a novas situações. O desenvolvimento do documento de dissertação permitiu, também, desenvolver e aperfeiçoar a capacidade de escrita e redação de documentos de investigação.

7.2 Trabalho futuro

Como trabalho futuro salienta-se a necessidade de implementar as ações de melhoria, devido ao período transitório que a empresa vivência. Com o início da produção destes novos projetos surge uma janela de oportunidade para implementar estas propostas de melhoria e promover medidas de melhoria continua.

Durante o período de realização do projeto, os novos projetos apenas se encontravam em período de testes e, por este motivo, não foi possível, no decorrer do trabalho desenvolvido, implementar as medidas propostas. Contudo, destaca-se a importância das medidas, uma vez que permitirá à Labina aumentar significativamente a capacidade produtiva, diminuir as perdas por custo de oportunidade, melhorar as condições de trabalho e promover o espírito *Lean* e o ambiente de melhoria continua.

Com a implementação das propostas de melhoria apresentadas, deve ser realizado um levantamento e resultados e, se possível, apresentar e implementar ações de melhoria que promovam o contexto de melhoria continua.

De modo complementar, destaca-se, também, a necessidade de realizar um estudo dos tempos com uma amostra representativa da realidade da empresa. Esta amostra permitirá identificar padrões de desperdícios que devem ser identificados e eliminados com recurso a ferramentas *Lean*. As propostas apresentadas na presente dissertação, devem ser usadas de modo a minimizar estes mesmos desperdícios. Com um correto e completo estudo dos tempos, deverá ser possível validar os problemas detetados e identificar mais anomalias no processo de *setup*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado, S., Alvarez, R., & Domingo, R. (2013). Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation. *Journal of Cleaner Production*, 47, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.048>
- Alves, A. C., Kahlen, F.-J., Flumerfelt, S., & Siriban-Manalang, A.-B. (2014). Lean Production Multidisciplinary: from Operations To Education. *7th International Conference on Production Research - Americas*. <https://doi.org/10.13140/2.1.1524.0005>
- Alves, A. C., Kahlen, F.-J., Flumerfelt, S., & Siriban-Manalang, A. B. (2019). *Lean Engineering for Global Development*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-13515-7>
- Amaro, P., Alves, A. C., & Sousa, R. M. (2019). Lean Thinking: A Transversal and Global Management Philosophy to Achieve Sustainability Benefits. In *Lean Engineering for Global Development* (pp. 1–31). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13515-7_1
- Andersson, R., Eriksson, H., & Torstensson, H. (2006). Similarities and differences between TQM, six sigma and lean. *The TQM Magazine*, 18(3), 282–296. <https://doi.org/10.1108/09544780610660004>
- Antony, J. (2006). Six sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, 12(2), 234–248. <https://doi.org/10.1108/14637150610657558>
- Antony, J., Snee, R., & Hoerl, R. (2017). Lean Six Sigma: yesterday, today and tomorrow. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34(7), 1073–1093. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2016-0035>
- Araújo, S. (2020). *Melhoria dos processos de montagem de componentes eletrônicos aplicando Lean Six Sigma e TRIZ numa empresa de componentes para a indústria automóvel - Master Thesis*. Universidade do Minho.
- Correia, D. (2018). *Melhoria de uma célula produtiva através da metodologia Lean Six Sigma - Master Thesis*. Universidade do Minho.
- Fadly Habidin, N., Pendidikan Sultan Idris, U., Malim, T., & Mohd Yusof, ri. (n.d.). *Critical success factors of Lean Six Sigma for the Malaysian automotive industry*. <https://doi.org/10.1108/20401461311310526>
- Feld, W. M. (2001). *Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them*. *Ferramenta Vitalicia*. (n.d.). Retrieved September 21, 2022, from <https://ferramentavitalicia.com/contents/pt/p1409.html>
- Ferreira, N. (2017). *Melhoria de Desempenho numa Secção de Corte de Tecido com Recurso a Ferramentas Lean - Master Thesis*. Universidade do Minho.
- Gapp, R., Fisher, R., & Kobayashi, K. (2008). Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system. *Management Decision*, 46(4), 565–579. <https://doi.org/10.1108/00251740810865067>
- George, M. L. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed*.
- George, M. L. (2003). *Lean Six Sigma for Service: How to Use Lean Speed and Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions* (McGraw-Hill (Ed.)).
- George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook*.
- Gross, J. M., & Mcinnis, K. R. (2003). *Kanban Made Simple* (N. Y. AMACOM (Ed.)).
- Harland, C. M., Caldwell, N. D., Powell, P., & Zheng, J. (2007). Barriers to supply chain information integration: SMEs adrift of eLands. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1234–1254. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.004>
- Hines, P., Found, P., Griffiths, G., & Harrison, R. (2008). *Staying Lean: Thriving, Not Just Surviving*.
- Hoellthaler, G., Braunreuther, S., & Reinhart, G. (2019). Requirements for a methodology for the assessment and selection of technologies of digitalization for lean production systems. *Procedia*

- CIRP*, 79, 198–203. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.046>
- Hou, T.-H. (Tony), & Hu, W.-C. (2011). An integrated MOGA approach to determine the Pareto-optimal kanban number and size for a JIT system. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5912–5918. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.032>
- Ili, S., Albers, A., & Miller, S. (2010). Open innovation in the automotive industry. *R&D Management*, 40(3), 246–255. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2010.00595.x>
- Jasti, N. V. K., & Kodali, R. (2015). Lean production: literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 53(3), 867–885. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.937508>
- Krafcik, F. J. (1988). Triumph of the Lean Production System. *Sloan Management Review*, 30(1), 41–52.
- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1708–1720. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349>
- Langlotz, P., & Aurich, J. C. (2021). Causal and temporal relationships within the combination of Lean Production Systems and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 96, 236–241. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.080>
- Lavado, J. (2016). *Lean and Six Sigma tools applied in a Pharmaceutical Company - Master Thesis*. Universidade do Minho.
- Leroy Merlin. (n.d.). Retrieved September 29, 2022, from <https://www.leroymerlin.pt/>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles From the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill Education.
- Liker, J. K., & Meier, D. (2007). *Toyota Talent: Developing Your People the Toyota Way* (M. H. Professional (Ed.)).
- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The toyota way in services: The case of lean product development. *Academy of Management Perspectives*, 20(2), 5–20. <https://doi.org/10.5465/AMP.2006.20591002>
- Manutan.pt. (n.d.). Retrieved September 21, 2022, from <https://www.manutan.pt/pt/map/cinto-porta-ferramentas-14-compartimentos>
- Marques, J. (2014). *A aplicação de Dispositivos Poka-Yoke na melhoria do processo produtivo - Master Thesis* [Universidade de Coimbra]. [https://eg.uc.pt/bitstream/10316/39055/1/Aplicacao de dispositivos Poka Yoke na melhoria do processo produtivo.pdf](https://eg.uc.pt/bitstream/10316/39055/1/Aplicacao%20de%20dispositivos%20Poka%20Yoke%20na%20melhoria%20do%20processo%20produtivo.pdf)
- Melo, T., Alves, A. C., Lopes, I., & Colim, A. (2020). *Reducing 3M by Improved Layouts and Ergonomic Intervention in a Lean Journey in a Cork Company* (pp. 537–545). https://doi.org/10.1007/978-3-030-41486-3_58
- Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), 662–673. <https://doi.org/10.1205/cherd.04351>
- Mohanty, R., Yadav, O., & Jain, R. (2007). Implementation of lean manufacturing principles in auto industry. *Vilakshan-XIMB Journal of Management*, 1, 1–32.
- Monden, Y. (1998). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-in-time*. Engineering & Management Press. <https://books.google.pt/books?id=aVPBQgAACAAJ>
- Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An Overview of Six Sigma. *International Statistical Review*, 76(3), 329–346. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: total productive maintenance* (M. : P. P. Cambridge (Ed.)).
- O'Brien, R. (2001). *An Overview of the Methodological Approach of Action Research*.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Taylor & Francis. https://books.google.pt/books?id=7%5C_-67SshOy8C
- Pinto, J. P. (2014). *Pensamento Lean* (Lidel (Ed.); 6ª).

- Potential Problem Analysis Tool - Discover Your Solutions LLC.* (n.d.). Retrieved September 22, 2022, from https://discoveryoursolutions.com/toolkit/potential_problem_analysis.html
- Press Development Team, P. (2002). *Standard Work for the Shopfloor* (T. & Francis (Ed.)).
- Ptacek, R., Sperl, T., & Trewn, J. (2015). *The Practical Lean Six Sigma Pocket Guide XL - Using the A3 and Lean Thinking to Improvement Operational Performance in ANY Industry, ANY Time!*
- Pyzdek, T. (2000). The Six Sigma Revolution The Six Sigma Revolution. *The Six Sigma Revolution, Figure 1*, 1–7. <http://www.pyzdek.com/six-sigma-revolution.htm>12/21/2000
- Quinteiro, A. (2021). *Reconfiguração de uma linha de montagem final aplicando princípios Lean Thinking numa empresa do ramo automóvel - Master Thesis.* Universidade do Minho.
- Rahman, N. A. A., Sharif, S. M., & Esa, M. M. (2013). Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation. *Procedia Economics and Finance*, 7, 174–180. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(13\)00232-3](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(13)00232-3)
- Ramires, F. (2020). *Process Mining and Lean Six Sigma: A Blended Approach to Improve the Purchasing Process of a Hospital - Master Thesis.* Universidade do Minho.
- Ribeiro, L., Alves, A. C., Moreira, F., & Ferreira, M. (2013). *Applying standard work in a paint shop of wood furniture plant: a case study.*
- Sadraoui, T. (2014). Efficacité de la Méthodologie Six Sigma dans la Gestion de la Chaîne Logistique. *International Journal of Scientific Research & Management Studies*, 2, 220–235. <https://doi.org/10.12691/ijefm-2-6-2>
- Schwaab, M. (2017). *Os famosos 3M's do Lean: Muda, Mura e Muri.* <https://engenharialean.wordpress.com/2017/01/29/os-famosos-3ms-do-lean-muda-mura-e-muri/>
- Shingo, S. (1983). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System.* Taylor & Francis.
- Shingo, S. (1986). *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke system.*
- Shingo, S. (1989). *A Study of the Toyota Production System From an Industrial Engineering Viewpoint.*
- Shopee Brasil. (n.d.). Retrieved September 21, 2022, from https://shopee.com.br/ENGATE-RÁPIDO-linha-de-ar-montagem-mangueira-compressor-liberação-rápida-conector-ferramenta-pneumática-e-acessórios-i.391695841.17123611562?sp_atk=6eb282f8-6f4d-46a6-8a13-a2c2ee7cd82e&xptdk=6eb282f8-6f4d-46a6-8a13-a2c2ee7cd82e
- Snee, R. D. (2004). Six-Sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 1(1), 4. <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2004.005274>
- Snee, R. D. (2010). Lean Six Sigma – getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), 9–29. <https://doi.org/10.1108/20401461011033130>
- Stamatis, D. H. (2010). *The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability.* Productivity Press. <https://doi.org/10.1201/EBK1439814062>
- Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. *Administrative Science Quarterly*, 23(4), 582–603. <http://www.jstor.org/stable/2392581>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation.* Free Press.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation (2nd Edition).* Free Press.
- Womack, J. P., Roos, D., & Jones, D. (1990). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production.* Institute of Purchasing & Supply. <https://books.google.pt/books?id=OL9yPwAACAAJ>

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – ANÁLISE DE *Pareto DOS MOTIVOS DE PARAGEM MENSAIS*

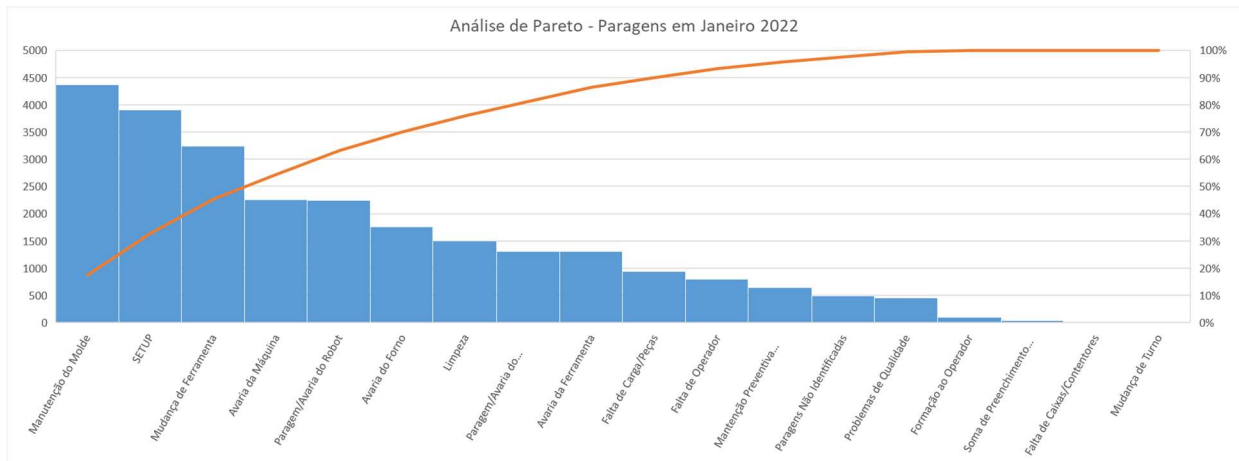


Figura 34 - Análise de *Pareto* janeiro

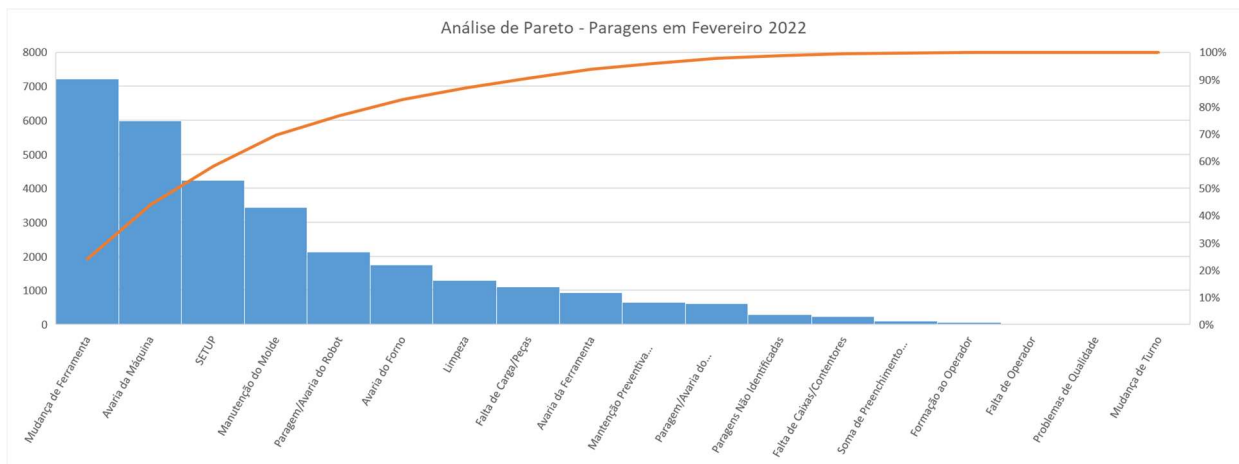


Figura 35 - Análise de *Pareto* fevereiro

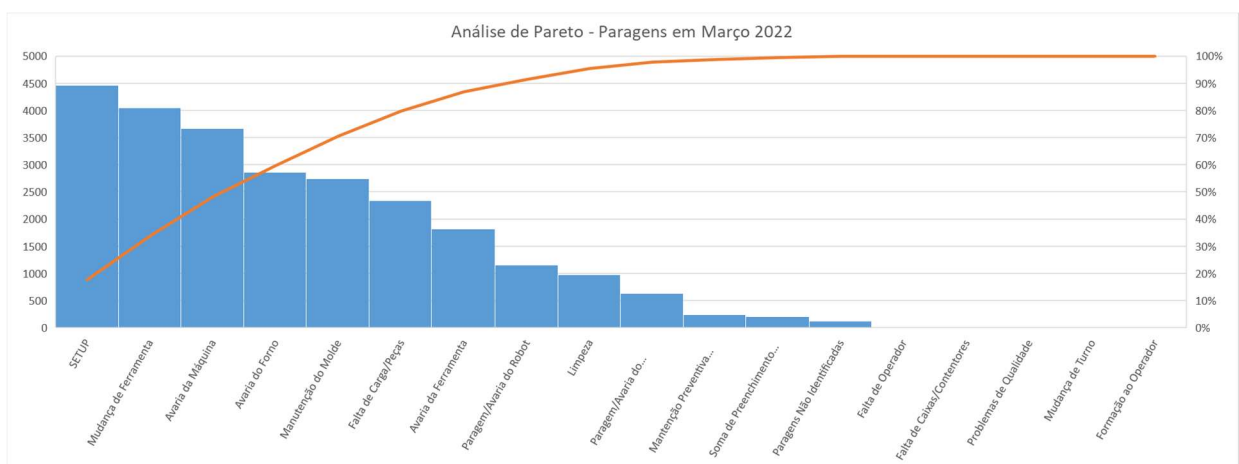


Figura 36 - Análise de *Pareto* março

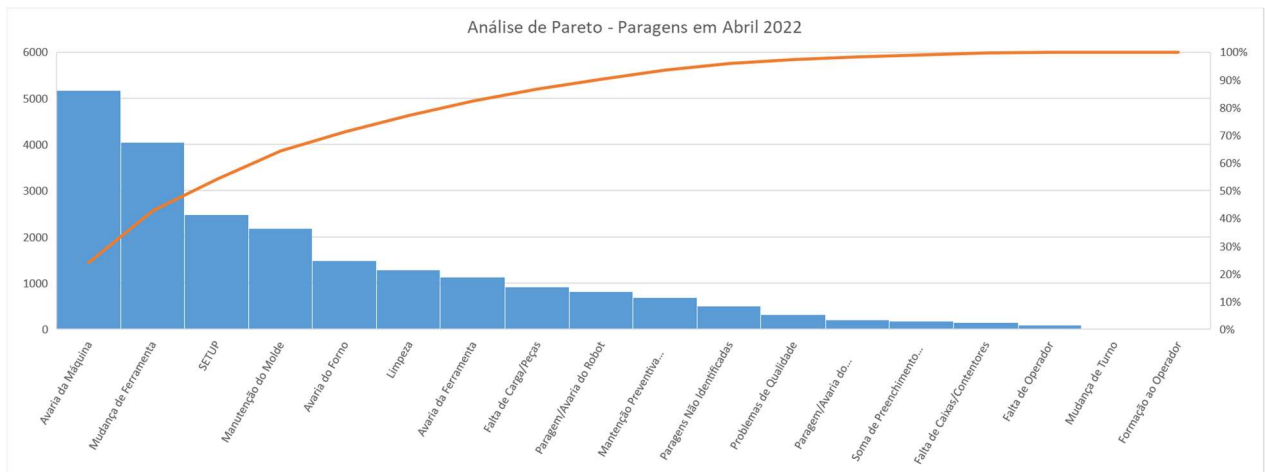


Figura 37 - Análise de Pareto abril

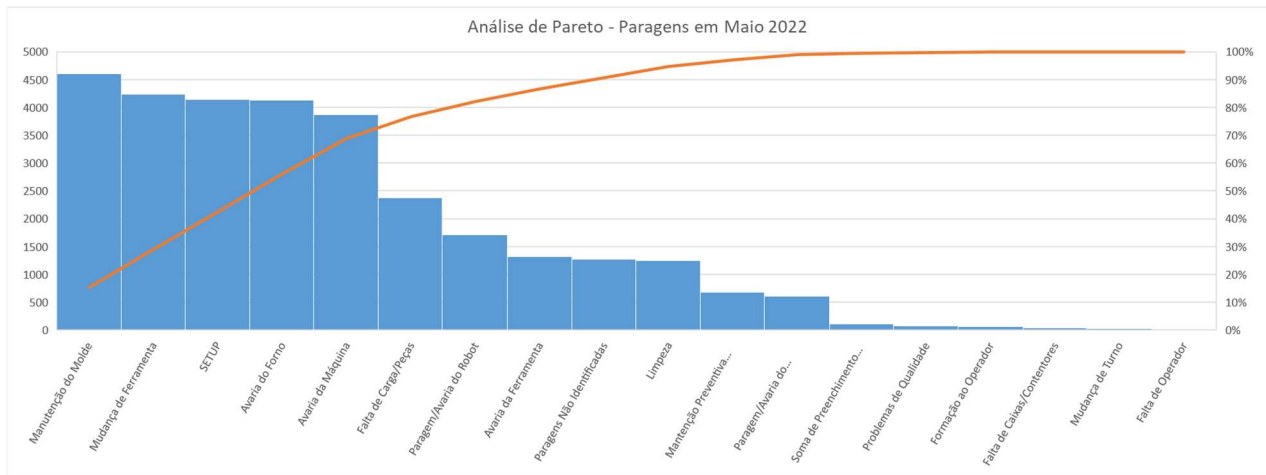


Figura 38 - Análise de Pareto maio

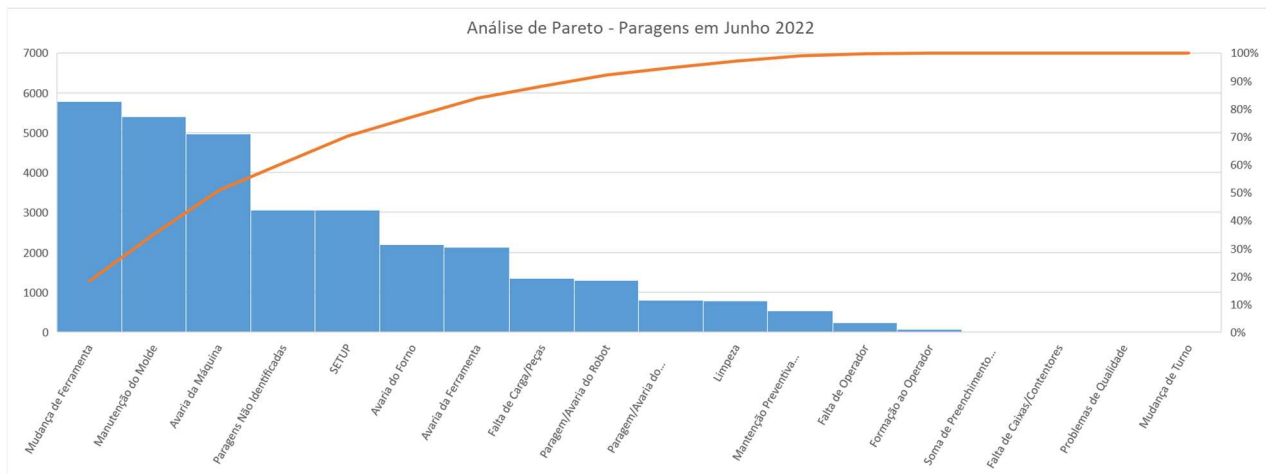


Figura 39 - Análise de Pareto junho

APÊNDICE 2 – SIPOC DO PROCESSO DE MUDANÇA DE MOLDE



Figura 40 - SIPOC do Processo de Mudança de Molde

APÊNDICE 3 – MAPEAMENTO DO PROCESSO DE MUDANÇA DE MOLDE

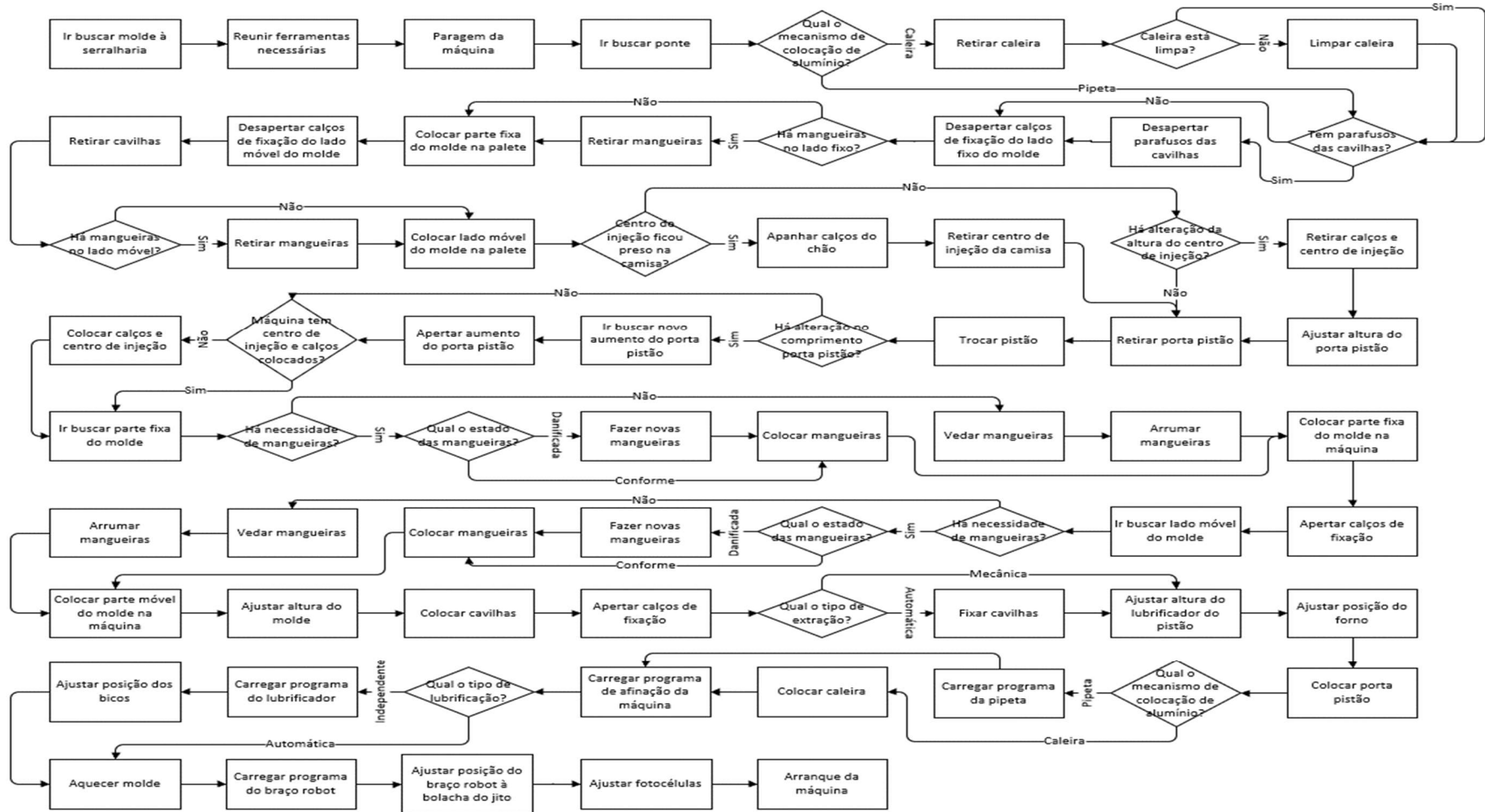


Figura 41 - Mapeamento do Processo de Mudança de Molde

APÊNDICE 4 – ANÁLISE DOS TEMPOS DE SETUP

Tarefa	Duração (s)
Ir buscar molde ao departamento de serralharia	600
Reunir ferramentas necessárias	300
Paragem da máquina	-
Ir buscar a ponte	63
Conectar a ponte com a argola do lado fixo do molde	14
Retirar caleira	13
Desapertar calços de fixação do lado fixo do molde	109
Retirar lado fixo do molde da máquina	54
Colocar lado fixo do molde na palete	105
Retirar porta pistão	11
Retirar pistão antigo	24
Colocar pistão novo	27
Colocar pistão antigo na palete	8
Colocar jito de acompanhamento na palete	21
Ir buscar a ponte	44
Conectar a ponte com a argola do lado móvel do molde	19
Desapertar calços de fixação do lado móvel do molde	34
Ir buscar ferramenta	5
Remover mangueiras de arrefecimento	169
Ir buscar ferramenta	85
Desapertar calços de fixação do lado móvel do molde	166
Retirar lado móvel do molde da máquina	54
Ir buscar ferramenta	9
Retirar lado móvel do molde da máquina	20
Colocar lado móvel do molde na palete	105
Retirar calços	45
Limpar máquina	76
Ir buscar lado fixo do molde	80
Colocar mangueiras de arrefecimento	85
Colocar calços	178
Ir buscar lado fixo do molde	198
Ir buscar ferramenta	7
Colocar calços	13
Retirar cavilhas	25
Subir porta pistão	25
Colocar lado fixo do molde na máquina	25
Verificar alinhamento do molde	15
Apertar calços de fixação do lado fixo do molde	174
Ir buscar lado móvel do molde	158
Colocar mangueiras na parte móvel do molde	113
Colocar parte móvel do molde na máquina	57
Fechar máquina	22
Afinar altura do molde na máquina	199
Colocar cavilhas	57
Apertar cavilhas	96
Fechar máquina	15
Apertar calços de fixação do lado móvel do molde	527
Fixar cavilhas	207
Ajustar altura do lubrificador de pistão	70
Colocar caleira	32
Ajustar posição do forno	9
Ajustar altura do porta pistão para a altura do centro de injeção	47
Colocar ponte e comando no local inicial	49
Apertar mangueiras	331
Colocar porta pistão	22
Arrumar ferramentas	131
Carregar programa de afinação da máquina	88
Aquecer o molde	2400
Levar molde antigo para a serralharia	-
Afinação do braço robot	1440
Arranque da máquina	-

Figura 42 - Primeiro registo dos tempos de *setup*

Tarefa	Duração (s)
Ir buscar molde ao departamento de serralharia	960
Reunir ferramentas necessárias	300
Paragem da máquina	-
Desapertar parafusos das cavilhas	122
Retirar caleira	19
Ir buscar a ponte	29
Conectar a ponte com a argola do lado fixo do molde	15
Desapertar calços de fixação do lado fixo do molde	115
Desapertar mangueiras de arrefecimento	37
Retirar lado fixo do molde da máquina	30
Retirar calços	26
Remover mangueiras de arrefecimento	67
Colocar lado fixo do molde na palete	78
Verificar altura de centro de injeção	16
Limpar máquina	11
Retirar mangueiras de água e óleo	97
Trazer ponte	29
Desapertar calços de fixação do lado móvel do molde	119
Retirar mangueiras de água e óleo	37
Ir buscar centro de injeção	36
Retirar lado móvel do molde da máquina	14
Retirar mangueiras de água e óleo	156
Retirar porta pistão	12
Retirar pistão	25
Colocar lado móvel do molde na palete	89
Retirar cavilhas	241
Retirar calços	9
Colocar calços	118
Regular altura do porta pistão	25
Retirar pistão	49
Colocar parte fixa do molde na máquina	168
Colocar pistão	16
Corrigir posição do molde	15
Apertar calços de fixação do lado fixo do molde	149
Colocar parte móvel do molde na máquina	157
Colocar mangueiras de água e de óleo	79
Ajustar comprimento do porta pistão	84
Colocar parte móvel do molde na máquina	125
Ajustar altura do lubrificador de pistão + Colocar porta pistão	101
Afinar altura do molde na máquina	33
Colocar cavilhas	126
Apertar cavilhas	179
Apertar calços de fixação	335
Colocar porta pistão	22
Limpar caleira	34
Colocar caleira	48
Arrumar mangueiras de água e de óleo	127
Carregar programa da máquina	116

Figura 43 - Segundo registo dos tempos de *setup*

Tarefa	Duração (s)
Ir buscar molde á serralharia	1323
Ir buscar ferramentas	149
Paragem da máquina	-
Retirar parafusos das cavilhas	50
Ir buscar ponte	56
Retirar caleira	32
Retirar calços de fixação	99
Retirar parte fixa da máquina	61
Retirar calços	19
Retirar mangueiras	271
Ir buscar palete	103
Colocar lado fixo na palete	124
Retirar calços de fixação	119
Retirar parte móvel da máquina	55
Retirar mangueiras	222
Retirar cavilhas	134
Colocar lado móvel na palete	117
Verificar altura do centro de injeção	49
Ir buscar calço de altura do porta pistão	104
Arrumar mangueiras	57
Apanhar calços do chão	90
Colocar calços	219
Retirar porta pistão	28
Colocar parte fixa do molde	360
Apertar calços de fixação	172
Colocar parte móvel do molde	209
Colocar mangueiras	126
Ajustar altura do molde	105
Colocar cavilhas	1042
Ajustar altura do porta pistão	23
Trocar pistão	81
Ajustar lubrificador do pistão	73
Colocar porta pistão	28
Colocar parafusos cavilhas	305
Colocar caleira	38
Apertar calços de fixação	725
Arrumar ponte	40

Figura 44 - Terceiro registo dos tempos de *setup*

Tarefa	Duração (s)
Paragem da máquina	-
Retirar parafusos das cavilhas	156
Retirar calços de fixação	155
Retirar parte fixa da máquina	39
Retirar calços	96
Retirar porta pistão	51
Retirar mangueiras	119
Retirar pistão	37
Retirar parte fixa da máquina	116
Ir buscar centro de injeção	215
Ir buscar ponte	113
Retirar calços de fixação	206
Retirar mangueiras	227
Retirar parte móvel da máquina	190
Retirar cavilhas	188
Colocar calços	216
Colocar parte fixa na máquina	240
Apertar calços de fixação	326
Colocar parte móvel na máquina	329
Ajustar altura do molde	59
Colocar cavilhas	443
Vedar mangueiras	182
Arrumar mangueiras	141
Apertar calços de fixação	353
Colocar caleira	56

Figura 45 - Quarto registo dos tempos de *setup*

APÊNDICE 5 – ANÁLISE DAS PARAGENS MENSAIS

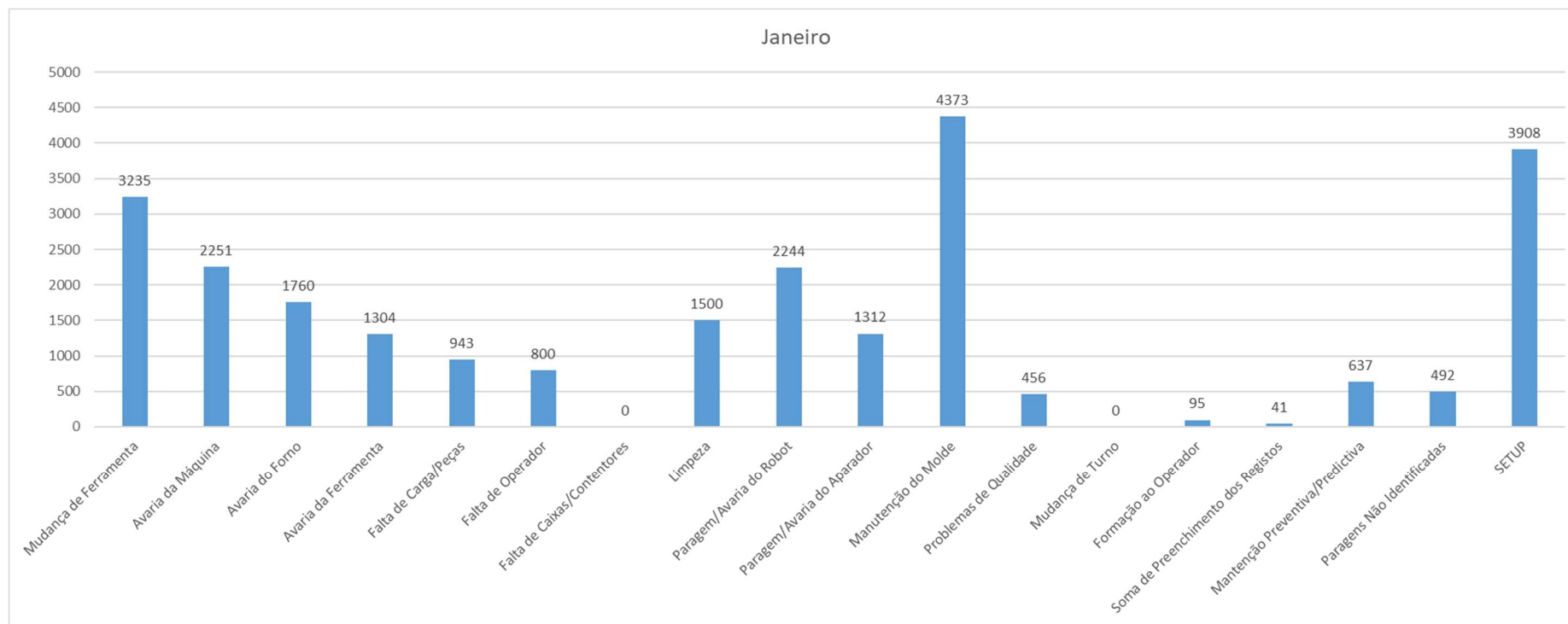


Figura 46 - Análise paragens de janeiro

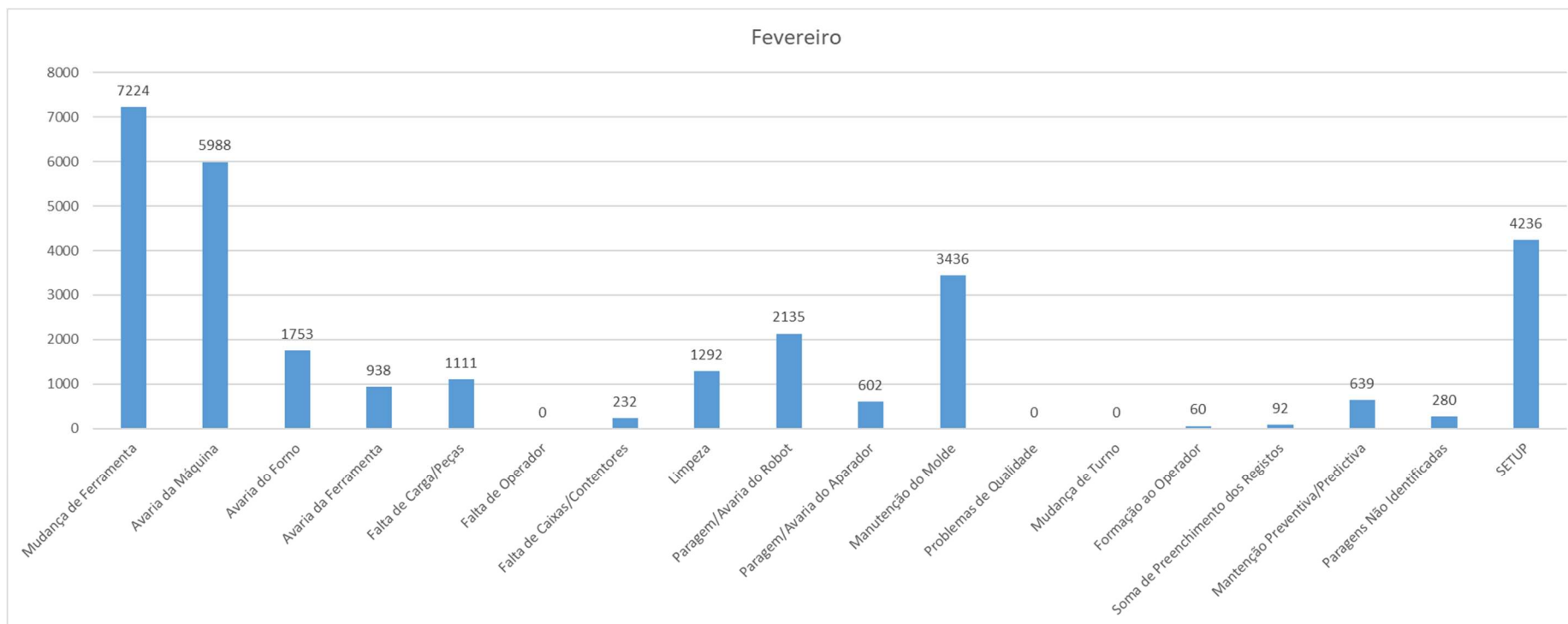


Figura 47 - Análise paragens de fevereiro

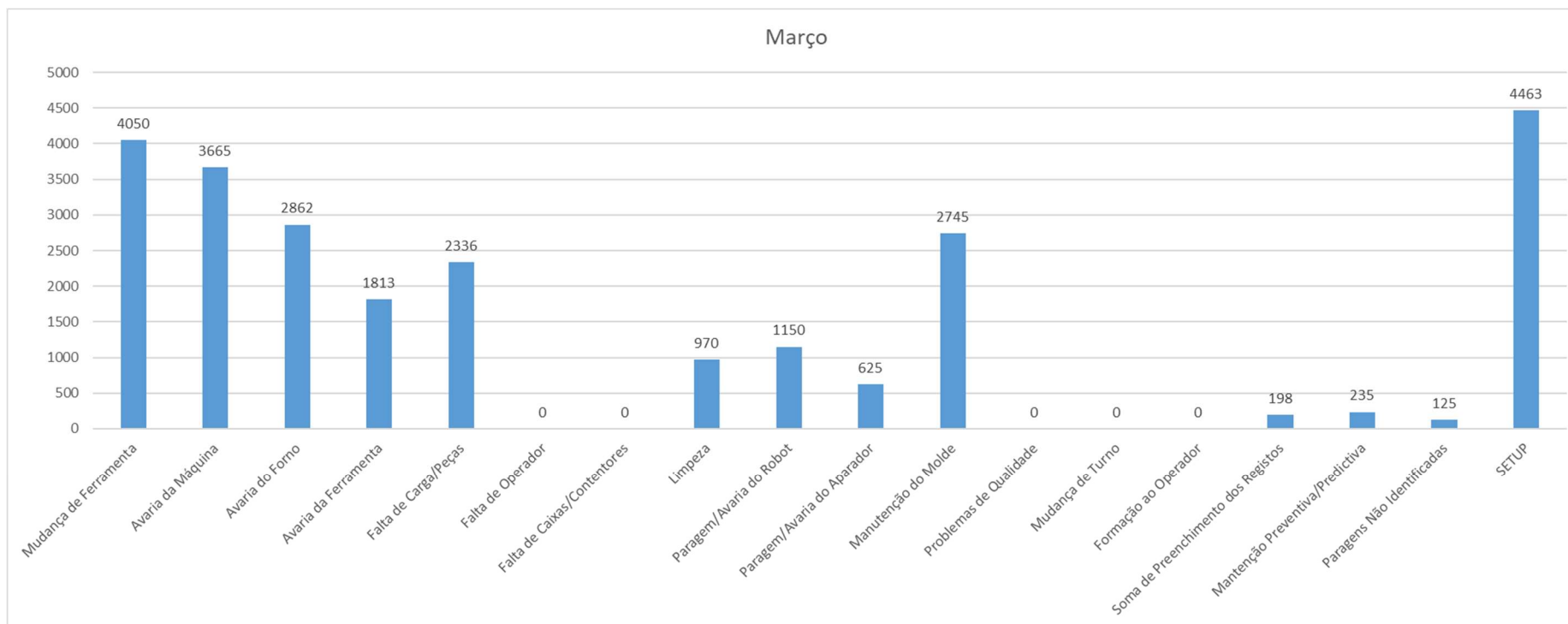


Figura 48- Análise paragens de março

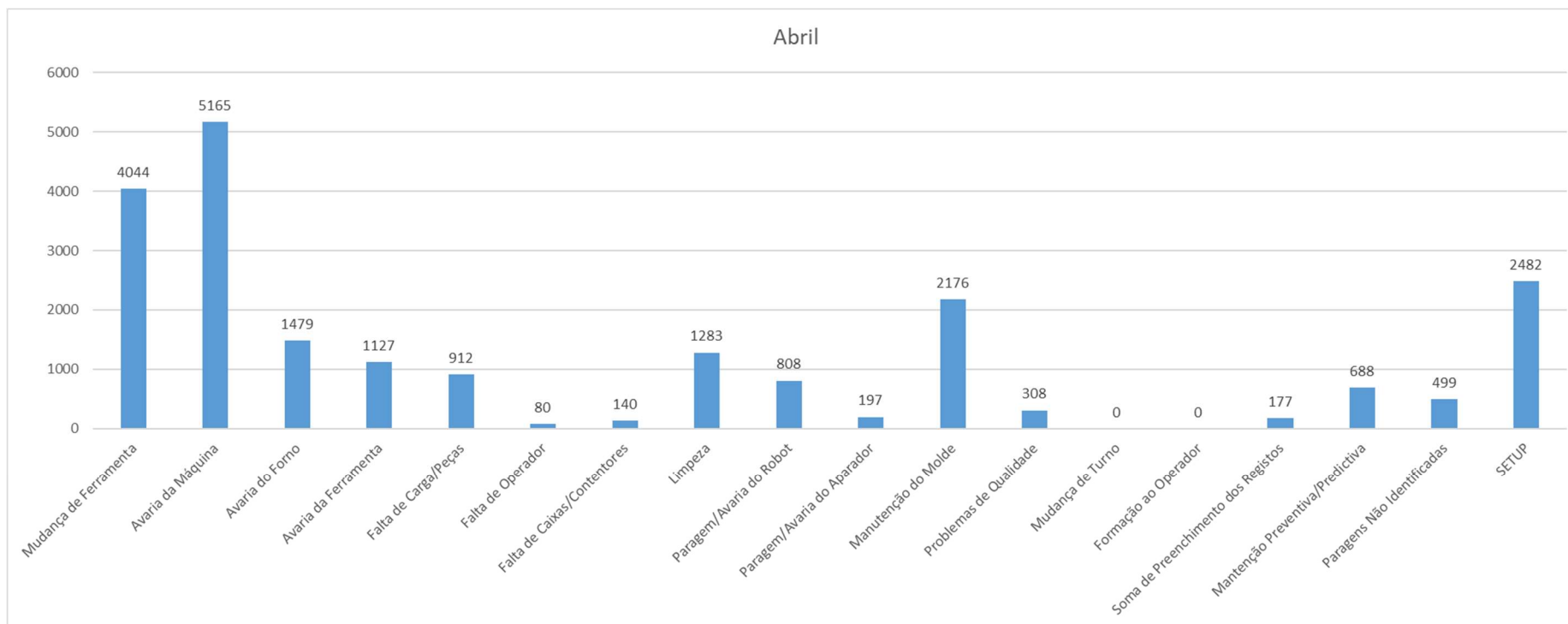


Figura 49 - Análise paragens de abril

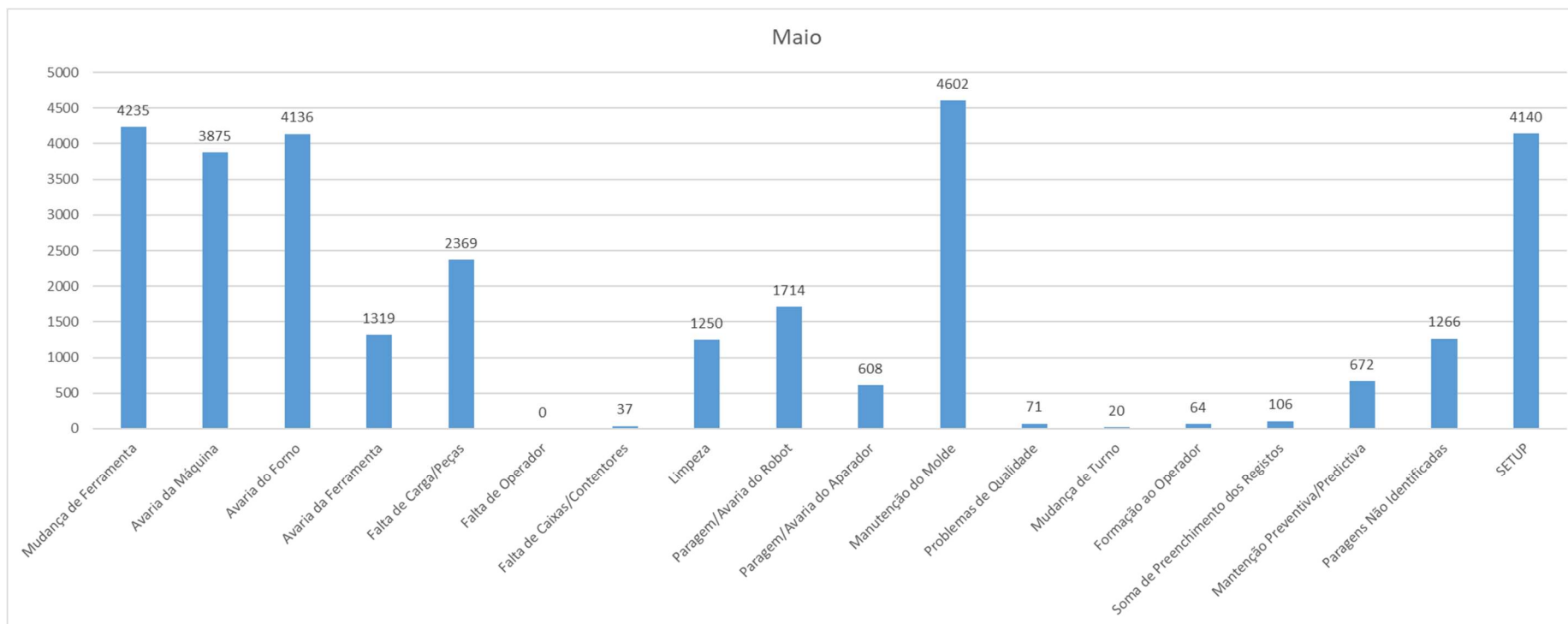


Figura 50 - Análise paragens de maio

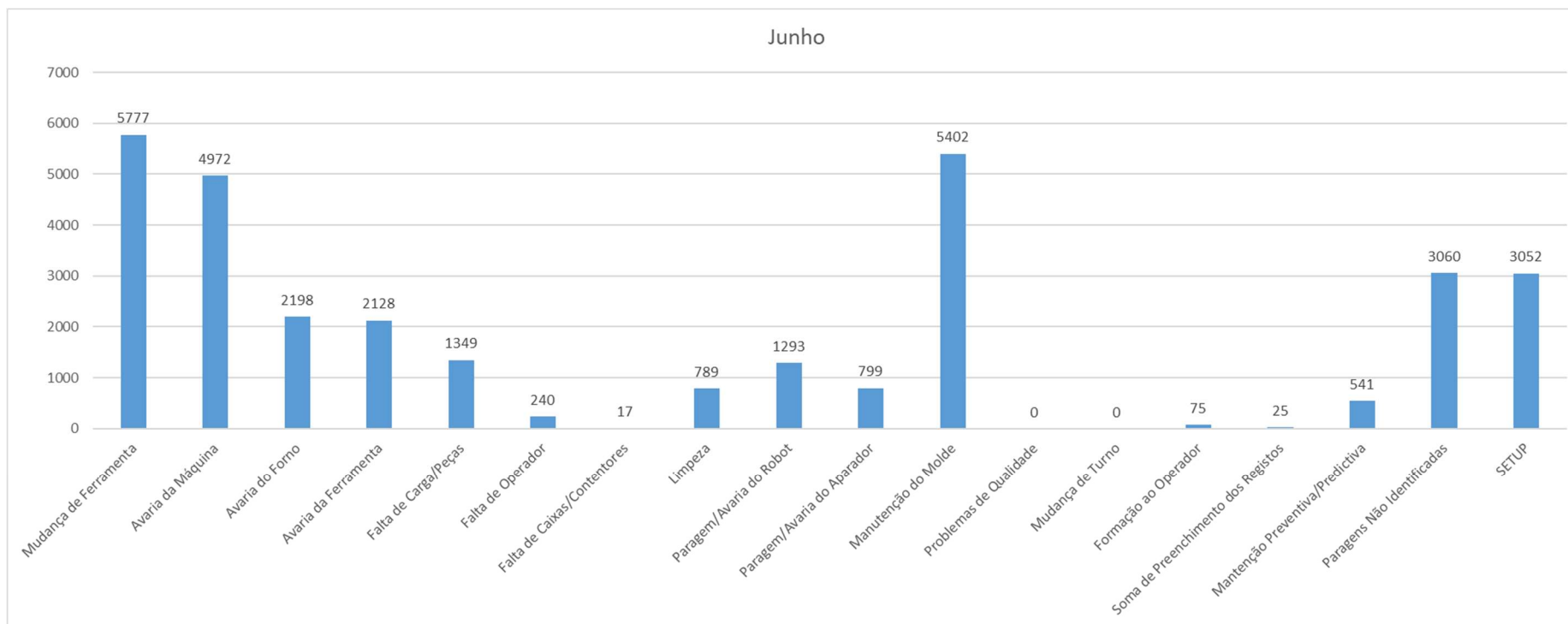


Figura 51 - Análise paragens de junho

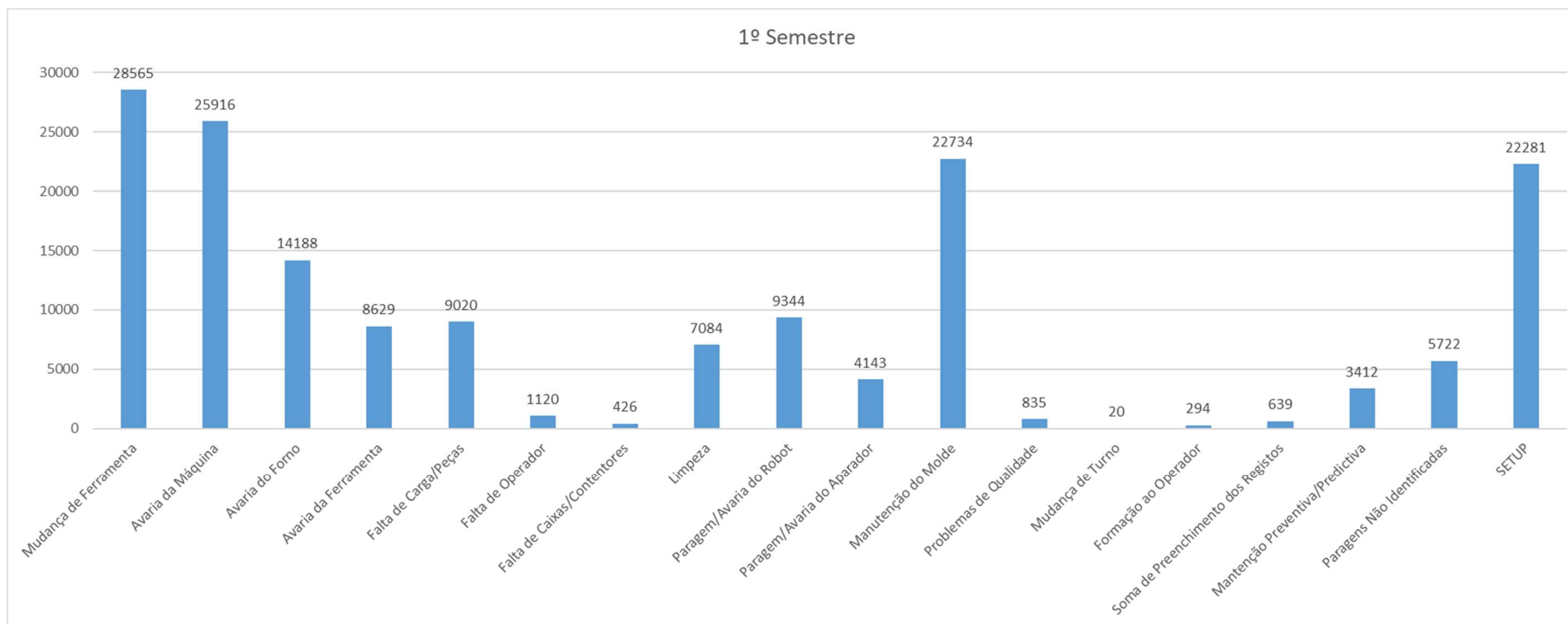


Figura 52 - Análise paragens de 1º semestre

APÊNDICE 6 – DIAGRAMA DE *FISHBONE* DO LEVANTAMENTO DE PROBLEMAS NO *SETUP*

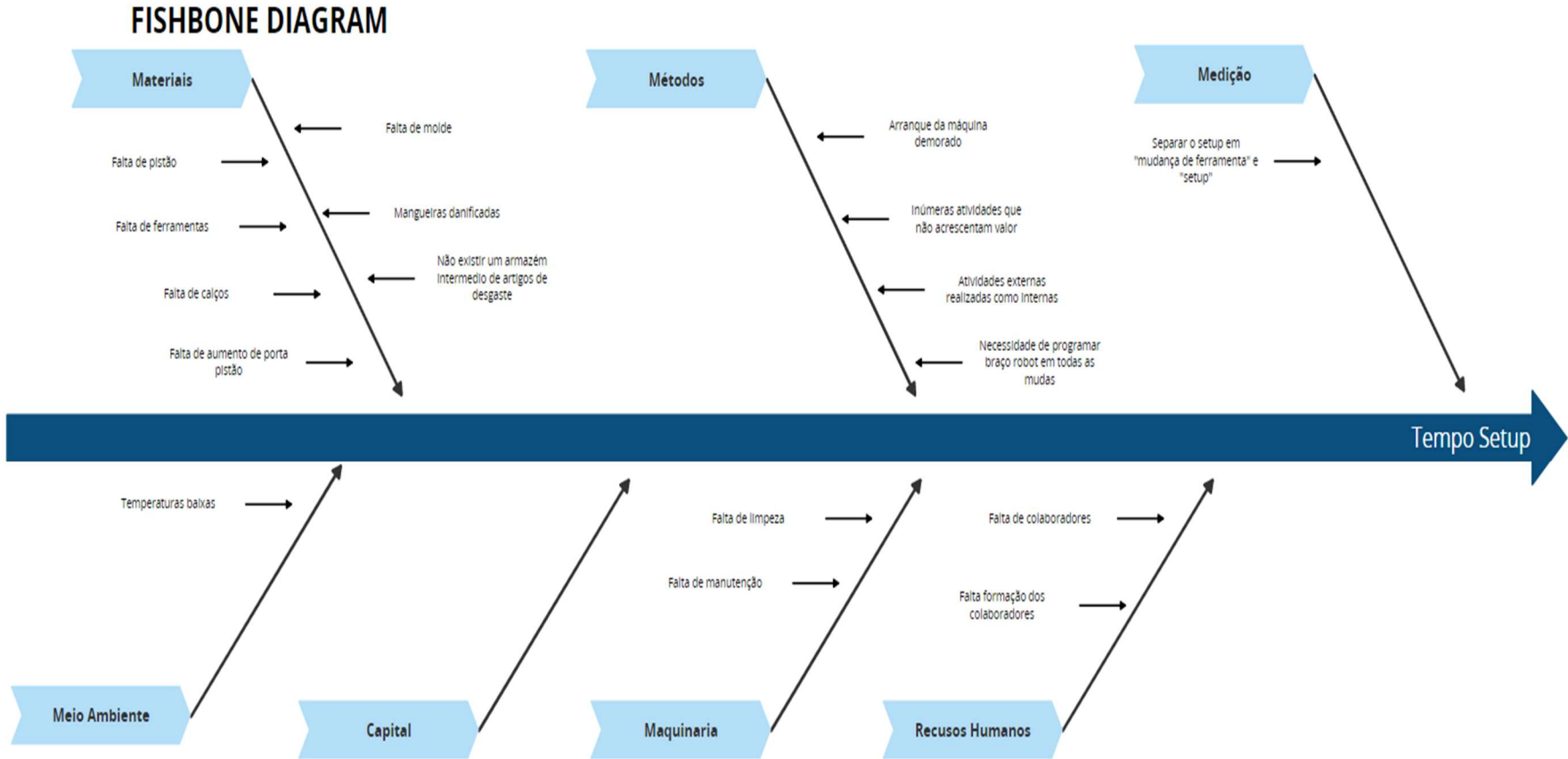


Figura 53 - Levantamento de problemas no *Setup*

APÊNDICE 7 – POTENTIAL PROBLEM ANALYSIS DOS PROBLEMAS IDENTIFICADOS

Atividade	Problemas	Efeitos	Causas Prováveis	Severidade	Ocorrência	Prioridade	Ações Preventivas	Ações Contigência	Acionadores de Contigência
Setup	Falta de pistão	A máquina fica parada enquanto o pistão está em falta	Não há controlo do stock de pistões	7	6	42	Criar sistema caixa cheia caixa vazia para assegurar stock mínimo de pistões de todos os diâmetros	Maquinar novos pistões	Caixa vazia
	Quantidade de ferramentas	O operador tem de sair do posto de trabalho para ir buscar a ferramenta em falta	Falta de listagem de ferramentas necessárias	3	9	27	-	-	-
			Não haver um local definido para as ferramentas	3	9	27	-	-	-
		No caso de a muda ser realizada por dois operadores, um deles fica a aguardar que a ferramenta fique disponível.	Falta de instruções de trabalho e de listagem das ferramentas necessárias	5	9	45	Definir as ferramentas necessárias durante o setup	-	-
		O operador necessita de efetuar muitas movimentações em torno da máquina para ir buscar as ferramentas	Não existe forma de o operador ter as ferramentas sempre próximas de si	4	9	36	Garantir que cada operador do setup tem as suas próprias ferramentas	-	-
	Falta de calços	O operador sai do posto de trabalho para ir buscar calços ou anilhas de forma a obter uma medida correta para os calços de fixação	Falta de instruções de trabalho	5	8	40	Criar um documento guia para a montagem do molde	-	-
			Falta de listagem de ferramentas necessárias	5	8	40	Definir as ferramentas necessárias durante o setup	-	-
			Falta de parametrização da dimensão dos calços	5	8	40	Criar um kit de acompanhamento do molde que inclui o pistão e os calços de fixação	Maquinar novos calços de fixação	Falta de calços de fixação
	Falta de aumento de porta pistão	O operador interrompe a montagem do molde para medir o comprimento do porta pistão e sai do posto de trabalho para medir e procurar um aumento do porta pistão	Falta de instruções de trabalho	6	6	36	Criar um documento guia para a montagem do molde	Maquinar novo aumento do porta pistão	Falta de porta pistão
			Não existir aumento do porta pistão na medida necessária	Falta de standerização das medidas dos comprimentos dos porta pistões	6	6	36	Criar um documento guia para a montagem do molde	Maquinar novo aumento do porta pistão
	Separar o setup em "mudança de ferramenta" e "setup"	Identificação incorreta das paragens	O aquecimento do molde e a configuração da máquina são processos demorados que ocorrem com o molde instalado na máquina	1	9	9	-	-	-
	Arranque da máquina demorado	Máquina parada enquanto o molde aquece e se carregam os programas na máquina	Molde aquecido com recurso a maçarico e termostato	9	7	63	Pré-aquecer o molde antes de ir para a máquina	-	-
			Necessidade de realizar ajustes manuais após carregar os programas	6	7	42	Calibrar e guardar os programas das máquinas e dos braços robot	-	-
Necessidade de ajustar manualmente os bicos de lubrificação			6	7	42	Integrar uma cabeça de lubrificação calibrada no kit do molde	-	-	
Falta de colaboradores	Ausência do operador na mudança do molde, devido a ir auxiliar outro posto de trabalho	Condições sócio-económicas	6	5	30	-	-	-	

Figura 54 - Potential Problem Analysis dos Problemas Identificados (Parte 1)

Atividade	Problemas	Efeitos	Causas Prováveis	Severidade	Ocorrência	Prioridade	Ações Preventivas	Ações Contigência	Acionadores de Contigência
Setup	Falta de molde	Paragem da máquina enquanto o molde se encontra em manutenção na serralharia	Molde em reparação na serralharia	7	3	21	-	-	-
	Inúmeras atividades que não acrescentam valor ao processo	Despender tempo durante a mudança de molde	Muitas movimentações para ir burcar material em falta	3	9	27	-	-	-
			Perda de tempo em apertos	6	6	36	Definir as ferramentas necessárias durante o setup	-	-
	Atividades externas realizadas como internas	Realização de atividades com a máquina parada que poderiam ser realizadas com a máquina em funcionamento	Falta de intruções de trabalho	6	6	36	Implementar sistemas de aperto rápido para as mangueiras existentes no molde	-	-
							Converter atividades internas em externas, quando possível	-	-
	Necessidade de programar o braço robot em todas as mudas	Necessidade de dispender de mais tempo no arranque	O molde nunca tinha operado naquela máquina	9	1	9	-	-	-
			Devido a atualizações da interface da máquina houve perda dos programas	7	1	7	-	-	-
	Mangueiras danificadas	Necessidade de dispender tempo a montar mangueiras novas	Falta de limpeza e manutenção das máquinas dificulta a deteção deste problema antes da mudança do molde	9	3	27	-	-	-
			Falta de instruções de montagem de mangueiras	9	3	27	-	-	-
	Não existir um armazém intermedio de artigos de desgaste	Necessidade de sair da máquina para ir buscar materiais em falta	Falta de espaço	5	5	25	-	-	-
			Falta de organização	5	5	25	-	-	-
	Temperaturas baixas	Dificulta o aquecimento do molde	Meteorologia em conjunto com haver poucos termoreguladores e, por isso, os moldes serem maioritariamente aquecidos com massarico	7	3	21	-	-	-
	Falta de formação dos colaboradores	Dependência de outros operadores	Não existir um plano de formação dos operadores na área de manutenção das máquinas e moldes	5	6	30	-	-	-

Figura 55 - Potential Problem Analysis dos Problemas Identificados (Parte 2)

APÊNDICE 8 – MATRIZ ESFORÇO-BENEFÍCIO

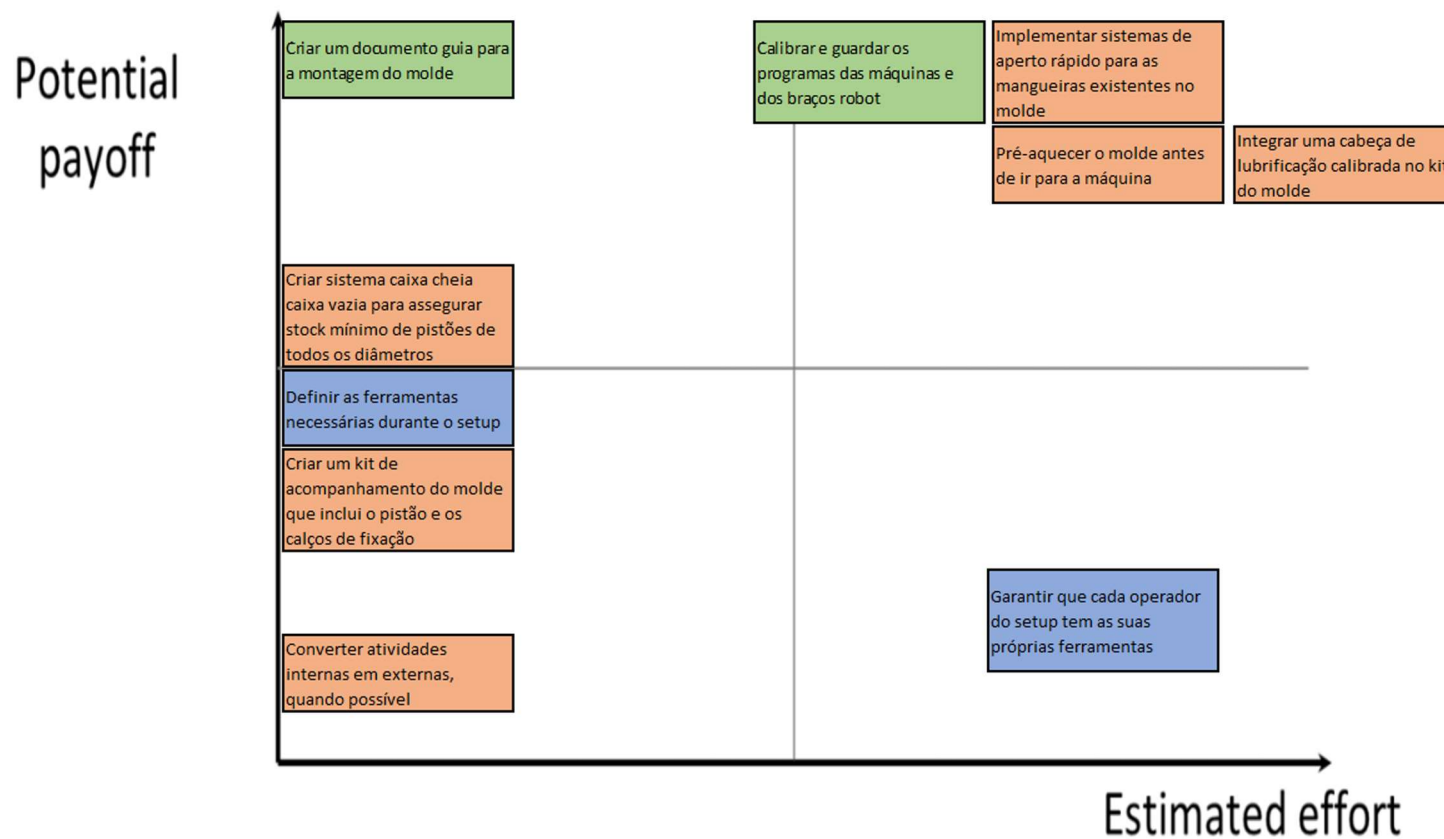


Figura 56 - Matriz esforço-beneficio

Tabela 19 - Priorização das ações de melhoria

Ação	Benefício	Esforço	Prioridade (Maior=Melhor)
Criar um documento guia para a montagem do molde	10	10	100
Criar sistema caixa cheia caixa vazia para assegurar stock mínimo de pistões de todos os diâmetros	6	10	60
Calibrar e guardar os programas das máquinas e dos braços robot	10	6	60
Definir as ferramentas necessárias durante o <i>setup</i>	5	10	50
Criar um kit de acompanhamento do molde que inclui o pistão e os calços de fixação	4	10	40
Implementar sistemas de aperto rápido para as mangueiras existentes no molde	10	3	30
Pré-aquecer o molde antes de ir para a máquina	10	2	20
Converter atividades internas em externas, quando possível	2	10	20
Garantir que cada operador do <i>setup</i> tem as suas próprias ferramentas	3	3	9
Integrar uma cabeça de lubrificação calibrada no kit do molde	8	1	8

Tabela 20 - Escala de priorização da matriz esforço-benefício

Escala			
Benefício	Nível	Esforço	Nível
Menos 1 minuto por <i>setup</i>	1	Menos de 10€ por ano	10
Menos 2 minutos por <i>setup</i>	2	Entre 10€ e 25€ por ano	9
Menos 3 minutos por <i>setup</i>	3	Entre 25€ e 50€ por ano	8
Menos 4 minutos por <i>setup</i>	4	Entre 50€ e 100€ por ano	7
Menos 5 minutos por <i>setup</i>	5	Entre 100€ e 250€ por ano	6
Menos 6 minutos por <i>setup</i>	6	Entre 250€ e 500€ por ano	5
Menos 7 minutos por <i>setup</i>	7	Entre 500€ e 1000€ por ano	4
Menos 8 minutos por <i>setup</i>	8	Entre 1000€ e 2500€ por ano	3
Menos 9 minutos por <i>setup</i>	9	Entre 2500€ e 5000€ por ano	2
Menos 10 ou mais minutos por <i>setup</i>	10	Superior a 5000€ por ano	1

APÊNDICE 9 – DOCUMENTO DE ACOMPANHAMENTO DO MOLDE

Nº da peça:	
Nome da peça:	
Estrutura:	
Moldista:	

Data do documento	
-------------------	--

			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Comum	Maquinas para o qual está adaptado										
	Posição centro de injeção										
	Calços de nível do centro de injeção										
	Ponto existe na m.f.i.?										
	Roscas dos KO por maquina										
	Diâmetro do pistão										
	Comprimento do aumento do porta pistão										
	Comprimento da camisa										
	Comprimento da máquina										
	Comprimento do porta pistão										

Hidráulica	Saída/ entrada de óleo cilindro/roscas	rosca	<input checked="" type="checkbox"/>	nº	<input checked="" type="checkbox"/>	lado do molde	<input checked="" type="checkbox"/>	fichas eletricas	<input checked="" type="checkbox"/>
		sim/não	<input checked="" type="checkbox"/>	nº	<input checked="" type="checkbox"/>	lado do molde	<input checked="" type="checkbox"/>	ref. fichas eletricas	<input checked="" type="checkbox"/>
	Confirmar fins-de-curso								

Termalização	Saídas/ entradas de óleo	rosca	<input checked="" type="checkbox"/>	qt. de Entradas/Saídas do lado fixo	<input checked="" type="checkbox"/>	qt. de Entradas/Saídas do lado móvel	<input checked="" type="checkbox"/>
	Saídas/ entradas de água	diâmetro	<input checked="" type="checkbox"/>	qt. de Entradas/Saídas do lado fixo	<input checked="" type="checkbox"/>	qt. de Entradas/Saídas do lado móvel	<input checked="" type="checkbox"/>

Fixação na maquina	Espeçura	<input checked="" type="checkbox"/>
	Espeçura dos calços no lado fixo	
	Espeçura dos calços no lado móvel	

Elevação	rosca	<input checked="" type="checkbox"/>
	Olhal no lado fixo	
	Olhal no lado móvel	

Desenhos em anexo	Material substituível	sim/não	<input checked="" type="checkbox"/>	data de envio
	Esquema termalizações			
	2D molde			
	3D molde			

notas:

	data	assinatura	
recepção do documento			<input checked="" type="checkbox"/>
verificação			

Figura 57 - Documento de acompanhamento do molde

ANEXOS

ANEXO 1 – LISTA NORMALIZADA DAS FERRAMENTAS

Tabela 21 - Lista normalizada de ferramentas (Parte1)
(Leroy Merlin, n.d.)






Designação	Dimensão [mm]	Imagem
Chave de bocas	13, 17, 19, 20, 27, 30, 32 e 36	
Chave inglesa	22 e 36	
Chaves allen sem bola	1.5 a 10	
Chaves allen com bola	1.5 a 10 Bola: 12, 14, 17, 19, 22 e 27	
Chave de fendas	3 e 6	

Tabela 22 - Lista normalizada de ferramentas (Parte2)
(Leroy Merlin, n.d.)





Designação	Dimensão [mm]	Imagem
Chave Philips PZ2	-	
Roquete de ¼" com bit	6, 7, 8, 9, 10, 12 e 13	
Roquete de ½" com bit de Umbrako	1, 14, 17, 19	
Alicate de aperto	-	
Chave de canos de 2"	-	
Paquímetro	160	

Tabela 23 - Lista normalizada de ferramentas (Parte3)
(Leroy Merlin, n.d.)

Designação	Dimensão [mm]	Imagem
Alicate universal	200 e 150	
X-ato	-	
Serrote de cortar ferro	-	
Berbequim sem fios	-	
Nível magnético	-	
Fita métrica	3000	

ANEXO 2 – DOCUMENTO DE VERIFICAÇÃO DAS FERRAMENTAS

Ferramenta	Estado
Chave de pancada de 30mm	
Chave de pancada de 36mm	
Chave de bocas de 13mm	
Chave de bocas de 17mm	
Chave de bocas de 19mm	
Chave de bocas de 20mm	
Chave de bocas de 27mm	
Chave de bocas de 30mm	
Chave de bocas de 32mm	
Chave de bocas de 36mm	
Chave inglesa de abertura até 22mm	
Chave inglesa de abertura até 36mm	
Chaves Umbrako de 1.5mm até 10mm longas sem bola	
Chaves Umbrako de 1.5mm até 10mm longas com bola de 12mm	
Chaves Umbrako de 1.5mm até 10mm longas com bola de 14mm	
Chaves Umbrako de 1.5mm até 10mm longas com bola de 17mm	
Chaves Umbrako de 1.5mm até 10mm longas com bola de 19mm	
Chaves Umbrako de 1.5mm até 10mm longas com bola de 22mm	
Chaves Umbrako de 1.5mm até 10mm longas com bola de 27mm	
Chave de fendas de 3mm	
Chave de fendas de 6mm	
Chave Philips PZ2	
Roquete de ¼" com bit de 6mm	
Roquete de ¼" com bit de 7mm	
Roquete de ¼" com bit de 8mm	
Roquete de ¼" com bit de 9mm	
Roquete de ¼" com bit de 10mm	
Roquete de ¼" com bit de 12mm	
Roquete de ¼" com bit de 13mm	
Roquete de ½" com bit de Umbrako de 1mm	
Roquete de ½" com bit de Umbrako de 14mm	
Roquete de ½" com bit de Umbrako de 17mm	
Roquete de ½" com bit de Umbrako de 19mm	
Alicate de pressão	
Chave de canos de 2"	
Alicate universal de 200mm	
Alicate universal de 150mm	
X-ato	
Serrote de cortar ferro	
Rebarbadora de 115mm	
Máquina de furar a baterias	
Paquímetro de 160mm	
Fita métrica de 3m	
Nível magnético	

Figura 58 - Lista de verificação de ferramentas