



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

João Pedro Henriques Ferreira

**OTIMIZAÇÃO PARA A MINIMIZAÇÃO DO
DESPERDÍCIO NO SETOR DA ESTIRAGEM DE
PERFIS DE AÇO**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial orientada pelo Professor Doutor Telmo Miguel Pires Pinto e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra

Julho de 2023



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Otimização para a minimização do desperdício no setor de estiragem de perfis de aço

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Optimization to minimize the waste in steel profiles in cold drawn sector

Autor

João Pedro Henriques Ferreira

Orientador

Professor Doutor Telmo Miguel Pires Pinto

Júri

Presidente	Professora Doutora Vanessa Sofia Melo Magalhães Professora Auxiliar Convidada da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Bruno Samuel Ferreira Gonçalves Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Leiria
Orientador	Professor Doutor Telmo Miguel Pires Pinto Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



Coimbra, julho, 2023

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.” Arthur Schopenhauer (1788 - 1860)

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Ao professor Doutor Telmo Pinto, por toda a orientação e disponibilidade concedida ao longo deste projeto.

À Bollinghaus Steel e a todos os colaboradores da empresa, pela oportunidade concedida e por todo o bom ambiente sentido durante os últimos meses. Em especial, aos Engenheiros Nélio Mourato e Miguel Coelho, por todo o conhecimento partilhado e por toda a dedicação e disponibilidade demonstrada.

Aos meus pais e ao meu irmão, que sempre me apoiaram e incentivaram para que pudesse dar o melhor de mim.

À minha namorada, por toda a paciência, compreensão e apoio incondicional ao longo dos últimos meses.

Aos meus amigos, por estarem sempre presentes e disponíveis para me apoiar.

Por fim, a todos aqueles que não referi, mas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Considerando a crescente necessidade de produção eficiente, impulsionada pelo aumento da competitividade e pelas exigências cada vez maiores dos clientes, é crucial para qualquer organização da indústria metalúrgica evitar a produção de sucata, pois esta representa desperdício de recursos valiosos como matérias-primas, energia e tempo.

A sustentabilidade de uma organização depende da sua capacidade de melhorar continuamente a performance dos seus processos produtivos. Nesta lógica, o Seis Sigma apresenta-se como uma ferramenta extremamente eficaz para identificar e eliminar o desperdício de qualquer processo, através de abordagens sistemáticas e baseadas em dados.

A presente dissertação insere-se no âmbito da melhoria contínua e foi realizada na sequência de um estágio curricular na Bollinghaus Steel, uma empresa dedicada à produção de perfis de aço inoxidável. O projeto desenvolvido consiste em um estudo Seis Sigma, estruturado de acordo com o ciclo DMAIC (*define, measure, analyze, improve, control*), que tem como principal objetivo a análise e minimização do desperdício de sucata verificado no setor da estiragem da organização.

A análise foi conduzida de forma aprofundada, considerando-se todos os aspetos relevantes do processo produtivo dentro do setor em estudo. Através das ferramentas e técnicas do Seis Sigma, analisou-se detalhadamente o material sucitado com o objetivo de identificar e quantificar o impacto das principais causas, bem como de desenvolver soluções para as mitigar.

Com esta dissertação, pretende-se fornecer um estudo aprofundado sobre a importância de minimização da sucata na produção industrial, utilizando o Seis Sigma como a abordagem eficaz para atingir esse objetivo. Espera-se que os resultados e as recomendações obtidas possam ser aplicados tanto na Bollinghaus Steel, como em outras empresas do setor, contribuindo para o aprimoramento de seus processos produtivos e para a procura contínua da excelência na produção eficiente.

Palavras-chave: Seis Sigma, DMAIC, Estiragem, Minimização de desperdício, Melhoria de processos.

ABSTRACT

Considering the increasing need for efficient production, driven by growing competitiveness and higher customer demands, it is crucial for any organization in the metallurgical industry to avoid scrap production as it represents a waste of valuable resources such as raw materials, energy, and time.

The sustainability of an organization depends on its ability to continuously improve the performance of its production processes. In this context, Six Sigma presents itself as an extremely effective tool to identify, as well as eliminate waste in any process through systematic and data-driven approaches.

The present dissertation falls within the scope of continuous improvement and was conducted following an internship at Bollinghaus Steel, a company dedicated to the production of stainless-steel profiles. The developed project consists of a Six Sigma study, structured according to the DMAIC cycle (define, measure, analyze, improve, control), which aims to analyze and minimize the scrap waste observed in the organization's cold drawn sector.

This in-depth analysis was conducted considering all relevant aspects of the production process within the sector under study. Using Six Sigma tools and techniques, the scrapped material was thoroughly analyzed to identify the main causes, quantify their impact and develop solutions to mitigate them.

The main purpose of this dissertation is to provide a comprehensive study on the importance of minimizing scrap in industrial production, taking advantage of the Six Sigma as an effective approach. It is expected that the obtained results and recommendations can be applied not only at Bollinghaus Steel but also in other companies in the sector, contributing to the continuous improvement of their production processes.

Keywords Six Sigma, DMAIC, Cold drawn, Waste minimization, Process improvement.

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice	ix
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xv
Simbologia, Siglas e acrónimos	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação e objetivos	2
1.2. Metodologia de Investigação	2
1.3. Estrutura da dissertação	3
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	5
2.1. Seis Sigma	5
2.2. Ciclo DMAIC	8
2.2.1. Fase I – Definir	8
2.2.2. Fase II – Medir	9
2.2.3. Fase III – Analisar	9
2.2.4. Fase IV – Melhorar	11
2.2.5. Fase V – Controlar	13
2.3. Tipos de desperdício	15
3. CARATERIZAÇÃO DA EMPRESA	17
3.1. Bollinghaus Steel	17
3.2. História da empresa	18
3.3. Produtos	18
3.4. Matérias-primas	19
3.5. Processos de Fabrico	20
4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC	25
4.1. Fase I – Definir	25
4.1.1. Pontas de sucata	25
4.1.2. Definição do problema e dos objetivos	27
4.1.3. Definição da equipa de melhoria	28
4.1.4. Definição do plano de melhoria	29
4.1.5. Delimitação das fronteiras do sistema	29
4.1.6. Caraterização do processo	30
4.1.7. Voz do cliente	31
4.1.8. SIPOC	31
4.2. Fase II – Medir	32
4.2.1. Seleção e definição dos KPIs	32

4.2.2.	Análise dos dados referentes a 2020, 2021 e 2022	33
4.2.3.	Fluxo de valor do processo de corte de estirados.....	42
4.2.4.	Seleção e descrição do sistema de recolha de dados	44
4.2.5.	Resultados da medição	49
4.2.6.	Nível Sigma	52
4.3.	Fase III - Analisar.....	53
4.3.1.	Inferência estatística dos dados obtidos	53
4.3.2.	Fontes de variabilidade do comprimento da ponta de sucata	64
4.3.3.	Identificação das causas raiz.....	66
4.4.	Fase IV – Melhorar	71
4.4.1.	<i>Brainstorming</i>	71
4.4.2.	Propostas de melhoria.....	75
4.4.3.	Aplicação da metodologia 5S	84
4.4.4.	Resumo das melhorias propostas	85
4.5.	Fase V – Controlar	87
4.5.1.	Carta de controlo estatístico.....	87
4.5.2.	Metodologia de controlo do desperdício – Geral.....	89
4.5.3.	Metodologia de controlo da nova especificação de estiragem.....	89
4.5.4.	Resultados obtidos.....	90
5.	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	93
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
	Anexo A – Relatório de auditoria 5S	97
	Apêndice A – Planeamento do projeto de melhoria.....	99
	Apêndice B – Processos do setor da estiragem.....	102
	Apêndice C – Resultados da análise dos dados de 2020, 2021 e 2022	106
	Apêndice D – Ficha de registo de medições.....	110
	Apêndice E – Exemplo de amostra recolhida	111
	Apêndice F – Resultados obtidos a partir da medição efetuada	112
	Apêndice G – Análise exploratória da influência do operador em MOC.....	113
	Apêndice H – Análise “5 Porquês” para identificação de causas raiz	116
	Apêndice I – Desenvolvimento da matriz custo vs. benefício	120
	Apêndice J – Ficha de registo de medidas de empurro em CD 2	121
	Apêndice L – Análise de benefício da nova especificação na estiragem	122
	Apêndice M – Instruções standard de produção no setor de fresagem	124
	Apêndice N – Caderno de fresagem de pontas para estiragem de perfis especiais.....	128
	Apêndice O – Análise de benefício de um batente para o corte em CD 1	131
	Apêndice P – Proposta de redução da matéria-prima planeada de um produto.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – DPMO vs. Nível Sigma do processo. (Adaptado de Linderman et al., 2003)...	6
Figura 2.2 – Estrutura hierárquica do Seis Sigma. (Fonte: Marques et al., 2008).....	7
Figura 2.3 – Esquema representativo DMAIC. (Fonte: Coelho, 2019).....	8
Figura 2.4 – Diagrama causa-efeito. (Fonte: Modelo interno Bollinghaus Steel).....	11
Figura 2.5 – Esquema representativo 5S .(Fonte: Gonçalves, 2021).....	12
Figura 2.6 – Representação geral de uma carta de controlo. (Fonte: Rodrigues, 2012).....	14
Figura 3.1 – História da empresa. (Fonte: Manual do colaborador Bollinghaus Steel, 2023)	18
Figura 3.2 – Exemplo de perfis produzidos pela empresa. (Fonte: Bollinghaus Steel, 2023)	19
Figura 3.3 – Fluxo de produção geral. (Fonte: Autor do relatório).....	20
Figura 3.4 – Tanque de <i>Pré-Coating</i> em CD 2.....	22
Figura 3.5 – Fieira para estiragem de perfil retangular.....	22
Figura 3.6 – Máquina de estiragem em CD 2.....	22
Figura 3.7 – Máquinas de corte em CD 2.	23
Figura 3.8 – Máquina de ponteamento.....	24
Figura 3.9 – Máquina de fresagem.	24
Figura 4.1 – Desperdício de pontas de sucata.	25
Figura 4.2 – Variação do indicador de sucata ao longo do ano de 2022.	27
Figura 4.3 – Delimitação das fronteiras do projeto.	30
Figura 4.4 – CD 1.	34
Figura 4.5 – CD 2.	34
Figura 4.6 – Variabilidade da percentagem de sucata para cada linha de estiragem.....	35
Figura 4.7 – Corte por disco abrasivo.....	36
Figura 4.8 – Corte por fita de corte.....	36
Figura 4.9 – Variabilidade da percentagem de sucata para cada tipo de corte do setor.	36
Figura 4.10 – Exemplo de alguns dos tipos de perfis produzidos no setor (Fonte: Bollinghaus Steel, 2023).....	37
Figura 4.11 – Variabilidade da percentagem de sucata para cada tipo de perfil.	38
Figura 4.12 – Diagrama de Pareto (Qualidades).	40
Figura 4.13 – Variabilidade da percentagem de sucata para as especificações de corte.	41

Figura 4.14 – Mapa do fluxo de valor do processo de corte de estirados em CD 1.....	42
Figura 4.15 –Mapa do fluxo de valor do processo de corte de estirados em CD 2.....	43
Figura 4.16 – Pontas de sucata do perfil hexagonal 28,5 de qualidade EN 1.4301 e LSC 3200.....	44
Figura 4.17 – Exemplo de ponta da frente.....	46
Figura 4.18 – Exemplo de ponta ponteada	46
Figura 4.19 – Exemplo de ponta com defeito "espelho".	47
Figura 4.20 – Exemplo de ponta de trás.	47
Figura 4.21 – Exemplo de barra final	48
Figura 4.22 – Esquema representativa das classes de uma ponta de sucata.	50
Figura 4.23 – Demonstração dos resultados obtidos durante a fase de medição.	51
Figura 4.24 – Análise do comprimento do defeito "espelho".	54
Figura 4.25 – Exemplo de etiqueta utilizado nos atados de estirados em fabrico.	55
Figura 4.26 – Análise do comprimento fresado no perfil retangular 41 x 11.....	56
Figura 4.27 – Análise do comprimento do defeito na ponta de trás.....	57
Figura 4.28 – Análise do comprimento do defeito de “dist 1”.	57
Figura 4.29 – Análise do comprimento do defeito de “dist 2”.	58
Figura 4.30 – Exemplo do defeito verificado na “dist 2”.	59
Figura 4.31 – Exemplo do defeito verificado na “dist 1” e <i>outliers</i>	59
Figura 4.32 – Análise do comprimento de MOC na CD 1.	60
Figura 4.33 – Análise do comprimento de MOC na CD 2.	61
Figura 4.34 – Análise do comprimento MOP no perfil hexagonal 28,5 com LSC 4100 mm.	63
Figura 4.35 – Análise do comprimento MOP no perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200 mm.	63
Figura 4.36 – Diagrama de causa-efeito para a variabilidade da ponta de sucata.	65
Figura 4.37 – Ponta “empurrada” ou extrudida no processo de estiragem.	67
Figura 4.38 – Análise da dependência entre ME e DE.....	68
Figura 4.39 – Posicionamento da barra para o corte definido pelo caminho de rolos em CD 2.	71
Figura 4.40 – Posicionamento da barra para o corte definido pelo operador em CD 1.	71
Figura 4.41 – Conjunto de ideias geradas na segunda sessão de <i>Brainstorming</i>	72
Figura 4.42 – Conjunto de ideias geradas na primeira sessão de <i>Brainstorming</i>	72
Figura 4.43 – Votação realizada na primeira sessão de <i>Brainstorming</i>	72
Figura 4.44 – Votações realizadas na segunda sessão de <i>Brainstorming</i>	72

Figura 4.45 – Matriz Custo vs. Benefício das ideias de melhoria mais votadas nas sessões de Brainstorming.....	74
Figura 4.46 – Exemplo da aplicabilidade da ferramenta CDSG.	76
Figura 4.47 – Demonstração do resultado obtido nos testes realizados.....	77
Figura 4.48 – distribuição de PD1 obtida a partir dos dados recolhidos no teste piloto.....	78
Figura 4.49 – distribuição de PD1 obtida a partir dos dados recolhidos na fase de medição.	78
Figura 4.50 – Caderno de fresagem de pontas para estiragem de perfis especiais.	80
Figura 4.51 – Representação do batente flexível em <i>SOLIDWORKS</i> 2021 (Adaptada pelo autor).....	81
Figura 4.52 – Análise do <i>Break Even Point</i> de cada cenário.	83
Figura 4.53 – Estado final da bancada de apoio à fresagem.	84
Figura 4.54 – Estado inicial da bancada de apoio à fresagem.	84
Figura 4.55 – Estado final da bancada de posto de trabalho do setor.....	85
Figura 4.56 – Estado inicial da bancada de posto de trabalho do setor.	85
Figura 4.57 – Nova estação de limpeza do setor.	85
Figura 4.58 – Localização inicial do material de limpeza.....	85
Figura 4.59 – Carta de controlo estatístico da sucata produzida pelo perfil quadrado 39,75 com LSC 3963mm.	88
Figura 4.60 – Metodologia de controlo geral do desperdício produzido por cada produto fabricado no setor.....	89
Figura 4.61 – Metodologia de controlo a utilizar para garantir a conformidade da utilização da nova especificação.....	90
Figura 4.62 – Variação da produção e do indicador de sucata do setor.....	91

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição das principais ferramentas da qualidade.	10
Tabela 2 – Coeficientes de Shewhart para as cartas de controlo.	15
Tabela 3 – Principais qualidades de matéria-prima utilizadas na produção.	19
Tabela 4 – Impacto financeiro dos objetivos definidos.	28
Tabela 5 – Equipa do projeto de melhoria.	29
Tabela 6 – Perfis dimensão com mais impacto na sucata do setor.	39
Tabela 7 – Descrição das variáveis de medição para análise do comportamento de pontas.	46
Tabela 8 – Descrição das variáveis resultantes do processo de medição.	48
Tabela 9 – Tabela do nível sigma.	52
Tabela 10 – Identificação da causa raiz do problema verificado com a variabilidade e produção de cada classe de ponta.	66
Tabela 11 – Resultados retirados da experiência realizada.	68
Tabela 12 – Ideias geradas no decorrer das sessões de Brainstorming realizadas.	73
Tabela 13 – Resultado do teste realizado ao perfil quadrado 39,75 com LSC 3963.	77
Tabela 14 – Benefício financeiro estimado para a melhoria proposta.	79
Tabela 15 – Retorno financeiro da proposta de melhoria.	82
Tabela 16 – Resumo das propostas de melhoria.	86
Tabela 17 – Comparação entre os resultados obtidos e os objetivos definidos.	91
Tabela 18 – Comparação entre os resultados obtidos e os objetivos definidos (excluindo o <i>outlier</i>).	92
Tabela 19 – Resultado da análise de histórico global de produção (2020 - 2022).	106
Tabela 20 – Resultado da análise de histórico das linhas de estiragem do setor (2020 - 2022).	106
Tabela 21 – Resultado da análise de histórico dos tipos de corte utilizados no setor (2020 - 2022).	107
Tabela 22 – Resultado da análise de histórico dos tipos de perfis produzidos no setor (2020 - 2022).	107
Tabela 23 – Resultado da análise de histórico das qualidades de matéria-prima utilizadas no setor (2020 - 2022).	108
Tabela 24 – Resultado da análise de histórico das especificações de limites de corte utilizadas no setor (2020 - 2022).	109

Tabela 25 – Resultados estatísticos das amostras recolhidas.....	112
Tabela 26 – Média do MOC dos operadores.	113
Tabela 27 – Definição dos níveis de custo e benefício para a construção da matriz.	120
Tabela 28 – Cálculo dos custos e benefícios das quatro ideias de melhoria mais votadas nas sessões de <i>Brainstorming</i>	120
Tabela 29 – Estimativa do peso médio de PD1 em perfis não fresados.	122
Tabela 30 – Indicadores utilizados para o cálculo do benefício da melhoria.	123
Tabela 31 – Benefício financeiro estimado para a implementação da nova especificação no processo de estiragem.	123
Tabela 32 – Estimativa do peso médio de MOC em perfis produzidos em CD 1.	131
Tabela 33 – Indicadores utilizados para o cálculo do benefício da proposta de melhoria.	131
Tabela 34 – Benefício estimado da proposta de melhoria.	131
Tabela 35 – Interpolação da sucata gerada por cada classe de ponta.	132
Tabela 36 – Análise de conformidade da ponta planeada.	133
Tabela 37 – Interpolação da representatividade de MOP na sucata gerada pelo perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200 mm.	134
Tabela 38 – Proposta de redução da quantidade de matéria-prima do perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200 mm no setor da estiragem.	134

SIMBOLOGIA, SIGLAS E ACRÓNIMOS

Simbologia

€	Euro
mm	Milímetro
Kg	Quilograma

Siglas e Acrónimos

B	Barra
CD 1	<i>Cold drawing 1</i>
CD 2	<i>Cold drawing 2</i>
CDSG	<i>Cold draw specifications generator</i>
DE	Defeito “espelho”
DF	Defeito de fresagem
DMAIC	<i>Define, measure, analyze, improve, control</i>
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades
EPI	Equipamento de proteção individual
EN	Normalização europeia
ET	Especificação técnica
Hex	Hexágono
ISO	Organização Standard Internacional
IST	Instruções Standard de Trabalho
KPI	Indicador-chave de performance
LCL	Limite inferior de controlo
LIC	Limite inferior de corte
LSC	Limite superior de corte
ME	Medida de empurro
MOC	Margem de otimização no corte
ML	Linha central
MOP	Margem de otimização do planeamento

NAFTA	Tratado norte-americano de livre comércio
P	Ponta
PB	Parte boa da ponta
PD	Parte com defeito na ponta
P1	Ponta da frente
P2	Ponta de trás
Qua	Quadrado
Ret	Retângulo
SIPOC	<i>Supplier, Input, Process, Outputs e Customer</i>
UCL	Limite superior de controlo
WIP	<i>Work in progress</i>

1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, a melhoria contínua é uma prática imprescindível para as empresas alcançarem a excelência. A constante evolução do mercado, o aumento da competitividade dentro do mesmo e a cada vez maior exigência por parte dos clientes requerem que exista uma adaptação, também constante por parte das empresas, que lhes permita garantir a sua diferenciação e aumentar os níveis de qualidade, desempenho e produtividade.

O sucesso de uma organização é um resultado complexo e multifacetado que envolve uma série de fatores críticos, entre os quais se destaca a liderança forte, a cultura organizacional positiva, a equipa bem treinada, a inovação constante, a excelência operacional e o foco no cliente. Quando estes pilares são fortalecidos, uma organização é capaz de alcançar os seus objetivos e manter-se competitiva em um mercado cada vez mais desafiador.

Atualmente, uma das formas mais utilizadas pelas organizações para estarem mais perto do sucesso e garantirem a sua posição de destaque no mercado é a aplicação de metodologias como a metodologia Seis Sigma. Esta abordagem de melhoria contínua tem-se mostrado muito eficaz na resolução de problemas, permitindo às empresas adquirirem capacidades metódicas que lhes permite identificar e resolver problemas de uma forma mais eficaz e eficiente.

Suportado pela metodologia mencionada, o presente estudo de caso foi desenvolvido com o objetivo de resolver um problema com o desperdício resultante do processo de produção do setor de estiragem. A realização do projeto surgiu na sequência de um estágio curricular na Bollinghaus Steel, uma empresa do setor metalúrgico, que se dedica à produção de perfis de aço inoxidável.

O trabalho desenvolvido consiste num projeto de melhoria contínua baseado em Seis Sigma e estruturado de acordo com o ciclo DMAIC. O principal objetivo do projeto passa por analisar e implementar ações de melhoria de modo a reduzir a quantidade de desperdício do setor. Além de alcançar os meios para a sua redução, pretende-se também realizar um estudo sobre os fatores que afetam a variabilidade de desperdício no setor.

1.1. Motivação e objetivos

No presente caso, o produto fabricado é feito de aço inoxidável que é um material totalmente reciclável devido à sua capacidade de ser fundido repetidamente. No entanto, nem todas as organizações metalúrgicas possuem a capacidade de recuperar esse material. A Bollinghaus Steel não possui essa capacidade, resultando na venda da sucata produzida a uma empresa do setor por preços relativamente baixos em comparação aos custos de produção. Portanto, minimizar a produção deste tipo de desperdício é de extrema relevância para o equilíbrio financeiro da empresa.

Nesse contexto, o principal objetivo deste projeto centra-se na redução do desperdício produzido no setor de estiragem, sendo um dos setores com maior volume de produção de sucata na empresa. O objetivo definido inclui ainda algumas metas secundárias, como:

- Quantificação do desperdício do setor da estiragem;
- Identificação e descrição das causas que levam à produção do desperdício;
- Definição e implementação de propostas de melhoria que permitam colmatar as principais causas de desperdício no setor.

1.2. Metodologia de Investigação

Esta secção tem como objetivo definir a condução do projeto de investigação, garantindo que a metodologia escolhida é a mais adequada para responder ao problema identificado. Desta forma e para garantir o rigor científico no desenvolvimento da dissertação de mestrado, optou-se por utilizar uma metodologia de estudo de caso.

A metodologia de estudo de caso é particularmente adequada para a compreensão aprofundada e contextualizada de um fenómeno específico. No contexto do projeto em estudo, o estudo de caso envolverá uma análise minuciosa da produção de um tipo de desperdício específico. Para alcançar esse objetivo, serão utilizadas diversas técnicas de recolha de informação como entrevistas não-estruturadas, observação direta, sessões de *brainstorming*, análise de documentos e análise de dados.

Ao adotar esta metodologia de pesquisa, espera-se obter uma visão abrangente do problema identificado, fornecendo informação relevante para a tomada de decisões e

contribuindo para avanço do conhecimento, dentro da empresa, sobre a produção do desperdício abordado.

1.3. Estrutura da dissertação

A estrutura da presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos principais. O primeiro e presente capítulo introduz o tema em estudo, assim como os principais objetivos, a metodologia utilizada e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo apresenta o enquadramento teórico de forma a integrar o trabalho desenvolvido. Neste capítulo, são abordados os principais conceitos dos temas Seis Sigma e do ciclo DMAIC, assim como outras técnicas de melhoria contínua utilizadas ao longo do projeto. Além disso, é também realizada a identificação dos tipos de desperdício que existem.

O terceiro capítulo caracteriza a empresa em que foi realizado o projeto, o qual se inicia com uma breve apresentação da Bollinghaus Steel e, em seguida, são abordados os principais produtos vendidos, as principais matérias-primas consumidas e o fluxo produtivo dentro da organização.

No quarto capítulo é apresentada a aplicação da metodologia DMAIC. Este é o capítulo onde são apresentadas todas as abordagens e análises efetuadas, assim como as melhorias e metodologias de controlo propostas e implementadas.

No último capítulo são apresentadas as principais conclusões retiradas do projeto desenvolvido e algumas recomendações de trabalho futuro.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O presente capítulo tem como objetivo a análise e investigação dos principais conceitos teóricos aplicados ao longo do trabalho. Esta revisão da literatura tem como base a abordagem da filosofia do Seis Sigma e das diferentes etapas do ciclo DMAIC desenvolvidas neste projeto. Neste capítulo são também abordadas as várias formas de desperdício, o principal tema do presente projeto.

2.1. Seis Sigma

O Seis Sigma é uma abordagem de melhoria contínua que procura aumentar a qualidade e a eficiência dos processos, através da redução da variabilidade. Segundo Pyzdek (2003), esta abordagem baseia-se num conjunto de práticas estatísticas com alto nível de rigor e disciplina que permitem identificar e eliminar defeitos dos processos.

Desenvolvida em 1985 nos EUA, a metodologia Seis Sigma foi criada pela Motorola para ajudar a empresa a enfrentar a ameaça da concorrência japonesa na indústria eletrónica. Naquela época, enfrentava-se a necessidade eminente de melhorar significativamente a qualidade dos seus produtos e serviços. O Seis Sigma foi a forma que a organização encontrou para definir o caminho de melhoria dos seus níveis de qualidade (Linderman et al., 2003), comprometendo-se com o objetivo de atingir uma taxa de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) em cada fase dos processos (Barroca et al., 2022).

O Seis Sigma não possui uma definição única na literatura, no entanto a redução de variabilidade e eliminação de defeitos são conceitos-chave para qualquer autor definir a metodologia. Segundo Carreira (2013), Seis Sigma trata-se de uma abordagem sistemática para eliminar as causas de variabilidade dos processos e, conseqüentemente, eliminar as falhas que afetam o que é crítico para o cliente, com o objetivo de alcançar eficiência, qualidade e diminuição de custos. Teixeira (2014) acrescenta que o Seis Sigma é um processo disciplinado que, através do uso de ferramentas estatísticas, permite às organizações identificar e eliminar erros, alcançando uma vantagem competitiva sustentável

através da redução da variabilidade resultante dos seus processos, da redução de custos e, principalmente, do aumento da satisfação dos seus clientes. Gonçalves (2021) refere que a metodologia é utilizada para medir e melhorar a qualidade de um processo, através da identificação de erros que possam gerar defeitos. Segundo Harry & Schroeder (2000), o Seis Sigma permite melhorar drasticamente os resultados de qualquer organização.

O conceito Seis Sigma ficou profundamente ligado ao objetivo de 3,4 DPMO, definido pela Motorola. Tseng et al. (2022) reforça que a capacidade dos processos apenas atinge o nível Seis Sigma quando a empresa atinge esse objetivo. Na Figura 2.1, é abordada a relação entre DPMO e o nível Sigma de qualquer processo.

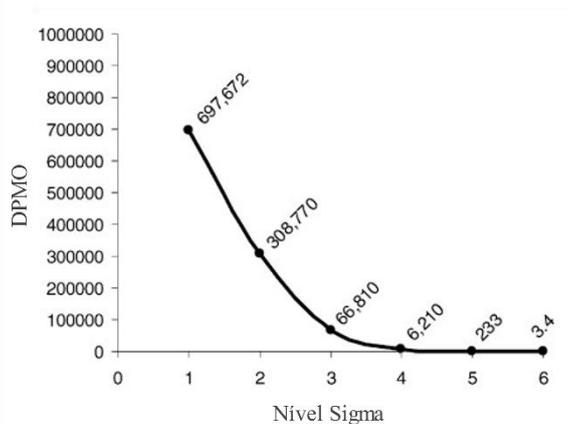


Figura 2.1 – DPMO vs. Nível Sigma do processo.
(Adaptado de Linderman et al., 2003)

Equipa Seis Sigma

A implementação de projetos Seis Sigma em uma organização requer a existência de uma estrutura organizada de colaboradores, especializados nas ferramentas da qualidade e na própria metodologia Seis Sigma (Coelho, 2019). Após receberem formação e certificação, esses colaboradores adquirem profundo conhecimento dos fundamentos, ferramentas e técnicas da metodologia, o que permite uma implementação eficaz e uma comunicação mais eficiente entre os membros da organização (Marques et al., 2008). Essa estrutura hierárquica desempenha um papel fundamental, assegurando a atribuição organizada de recursos para as diversas atividades de melhoria de desempenho. Segundo Coelho (2019), a composição dessa estrutura é a seguinte:

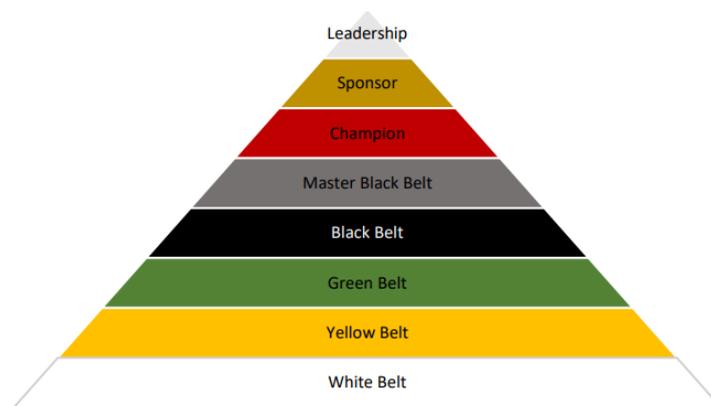


Figura 2.2 – Estrutura hierárquica do Seis Sigma. (Fonte: Marques et al., 2008)

- *Leadership*: geralmente exercida pelo diretor executivo, que detém a autoridade necessária para fornecer os recursos e os meios essenciais para alcançar os objetivos estratégicos.
- *Sponsor*: executivo sénior responsável por uma área ou processo da organização, comprometendo-se profundamente com o projeto, pois é o colaborador que mais se beneficia com o sucesso do mesmo.
- *Champion*: responsável pelo processo a ser aprimorado, com profundo entendimento das teorias, princípios e práticas do Seis Sigma.
- *Master Black Belt*: encarregado da implementação estratégica dos projetos na organização, devido ao seu amplo conhecimento da metodologia. É responsável pela formação e orientação de *Black Belts*, *Green Belts*, e assume responsabilidade pelos seus erros.
- *Black Belt*: orienta os *Green Belts* na condução dos grupos de trabalho, sendo um profissional experiente na utilização de ferramentas e técnicas para prevenção e solução de problemas.
- *Green Belt*: auxilia os *Black Belts* na recolha de dados, no desenvolvimento de experiências e na liderança de projetos menores.
- *Yellow e White Belts*: profissionais de nível operacional na empresa, atuam como suporte para os *Green Belts*.

2.2. Ciclo DMAIC

O modelo DMAIC é uma ferramenta de gestão de projetos que funciona como um método sistemático de análise e melhoria de processos de negócio (Selvi e Majumdar, 2014). Esta ferramenta de gestão é considerada por Smętkowska e Mrugalska (2018) como uma das principais ferramentas utilizadas e integradas no conceito Seis Sigma. Embora, segundo Selvi e Majumdar (2014), também possa ser implementada como um procedimento de melhoria autónomo.

O modelo DMAIC é um ciclo estruturado por cinco fases (fase definir; fase medir; fase analisar; fase melhorar e fase controlar) que tem a capacidade de abordar qualquer problema identificado por uma organização e, através da utilização de técnicas e ferramentas lógicas, chegar tanto à conclusão efetiva da causa do problema como também à identificação de melhorias sustentáveis (Shankar, 2009).

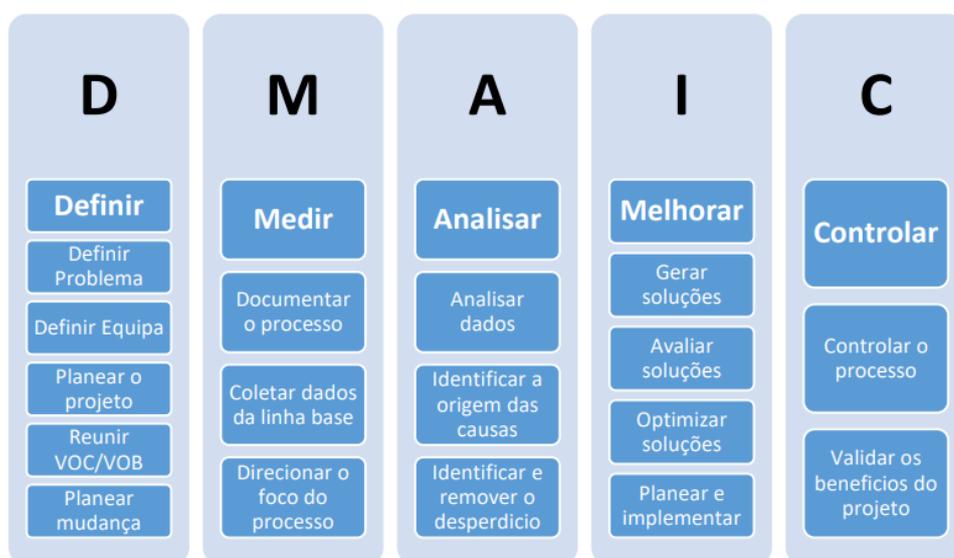


Figura 2.3 – Esquema representativo DMAIC. (Fonte: Coelho, 2019)

2.2.1. Fase I – Definir

Na etapa inicial, é crucial compreender o problema que será analisado e solucionado. Segundo Jacinto (2016), a seleção adequada do projeto desempenha um papel fundamental no sucesso do Seis Sigma. Escolher um projeto muito abrangente pode resultar em perda de tempo e esforço excessivo por parte da equipa, por isso é essencial vincular os projetos a um objetivo adequado e quantificar o seu impacto.

Na fase definir é feita uma descrição clara do âmbito do projeto de melhoria. Nesse momento, são identificadas as questões-chave, os problemas envolvidos e o respetivo impacto, bem como o objetivo a alcançar (Aldana et al., 2017). É também nesta fase que é selecionada a equipa que contribuirá para o projeto, de acordo a secção 2.1.1., assim como o seu plano de execução.

2.2.2. Fase II – Medir

Esta etapa desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de um projeto Seis Sigma. A fase medir proporciona uma base sólida de informação para análise e melhoria do processo através da identificação de métricas válidas e confiáveis, com a capacidade de retratar os comportamentos dos processos a abordar (Smętkowska e Mrugalska, 2018). A recolha de dados relevantes e mensuráveis permitem identificar o estado atual do processo, a sua variabilidade e as possíveis fontes de desperdício ou defeitos (Coelho, 2019). Além disso, nesta fase estabelece-se uma linha de base precisa e confiável para avaliar o impacto das melhorias implementadas nas etapas subsequentes do ciclo DMAIC. Esta abordagem baseada em evidências, permite à organização tomar decisões informadas e direcionadas para impulsionar a eficiência, qualidade e a satisfação do cliente.

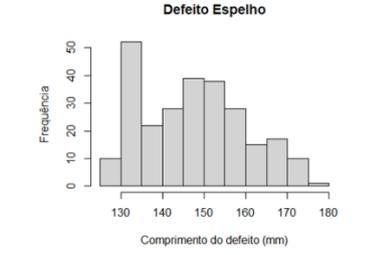
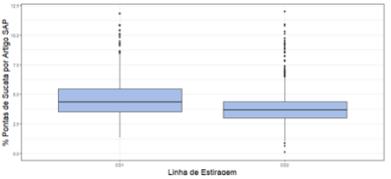
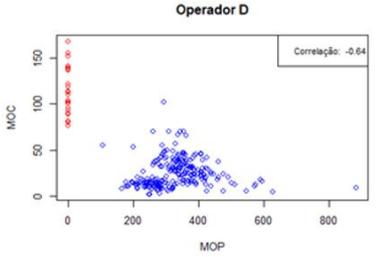
2.2.3. Fase III – Analisar

A terceira etapa do ciclo DMAIC é essencial para identificar as causas raiz dos problemas, através da análise dos dados recolhidos na fase anterior. A análise tem como finalidade a procura de possíveis tendências, padrões e correlações entre as variáveis de entrada e saída do processo (Jacinto, 2016). A análise minuciosa dos dados é essencial para identificar os principais fatores que contribuem para a variabilidade e ineficiência do processo, proporcionando uma base sólida para a implementação de ações corretivas e melhorias direcionadas. Para tal, recorre-se a ferramentas da qualidade para fundamentar as possíveis ações futuras.

2.2.3.1. Ferramentas estatísticas

Alguns exemplos de ferramentas da qualidade, utilizadas na interpretação de resultados, são sumariadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição das principais ferramentas da qualidade.

Ferramenta da Qualidade	Descrição	Exemplo
Histograma	Apresenta visualmente a distribuição dos dados em forma de barras, permitindo uma rápida compreensão das frequências e padrões dos valores.	 <p>Defeito Espelho</p>
Diagrama de caixa de Bigodes	Fornece uma representação gráfica do resumo dos dados, incluindo a mediana, quartis e valores extremos, permitindo identificar a dispersão e possíveis valores atípicos ou <i>outliers</i> .	
Diagrama de Pareto	Ajuda a identificar e a priorizar problemas ou causas mais significativas num conjunto de dados, destacando os itens que contribuem mais para um determinado efeito ou resultado.	 <p>Diagrama de Pareto (Qualidades)</p>
Gráfico de dispersão	Representa visualmente a relação entre duas variáveis, permitindo identificar padrões, tendências e possíveis correlações entre os dados, ajudando a compreender a natureza da relação entre as variáveis e a fazer previsões ou inferências sobre o seu comportamento futuro.	 <p>Operador D</p>

2.2.3.1. Diagrama causa-efeito

Além das ferramentas mencionadas, é também comum utilizar outras técnicas de análise. O diagrama causa-efeito, também conhecido como diagrama de *Ishikawa* ou

“espinha de peixe”, é uma técnica utilizada em projetos Seis Sigma que ajuda a visualizar e analisar as possíveis causas de um problema, agrupando-as em categorias, de acordo com os 6M’s: métodos, matéria-prima, mão-de-obra, máquinas, medição e meio-ambiente.

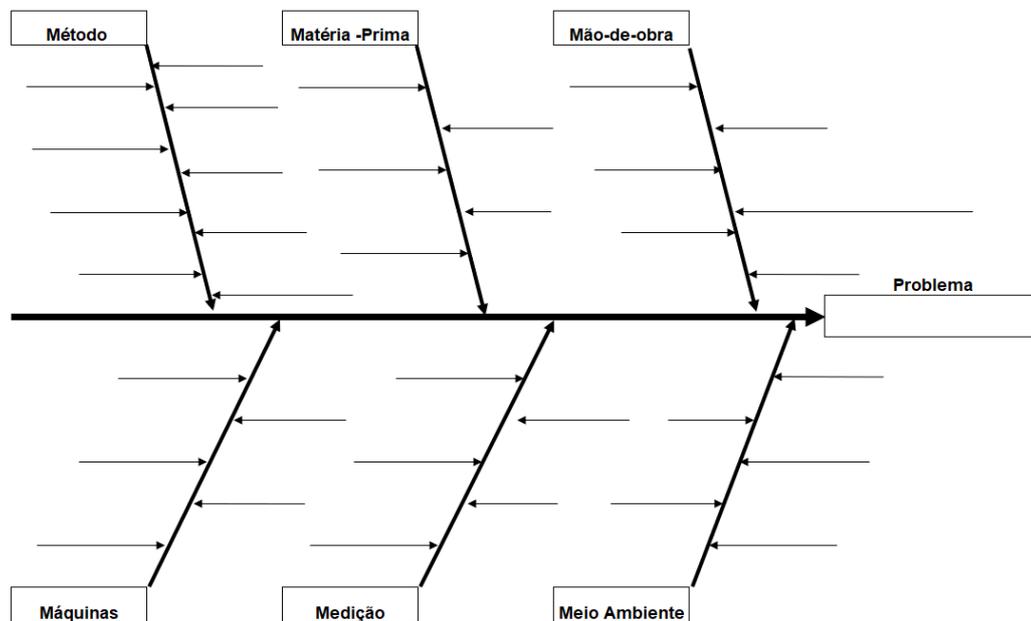


Figura 2.4 – Diagrama causa-efeito. (Fonte: Modelo interno Bollinghaus Steel)

2.2.3.2. 5 Porquês

Outra técnica utilizada na fase de análise de um projeto Seis Sigma é a ferramenta 5 Porquês. Esta apresenta uma abordagem simples, porém, bastante poderosa, que consiste em questionar repetidamente "porquê?" para identificar as causas subjacentes de um determinado problema, percorrendo dessa forma o caminho até à causa-raiz.

A utilização não só desta ferramenta, mas também de todas as mencionadas, permite aos responsáveis do projeto detetar as causas de variação do desempenho atual em relação ao desempenho objetivo (Smętkowska e Mrugalska, 2018) e, por outras palavras, permite identificar as causas da ocorrência dos problemas.

2.2.4. Fase IV – Melhorar

Esta etapa é onde as soluções são desenvolvidas e implementadas para eliminar as causas raiz dos problemas, identificadas na fase anterior. Segundo o estudo realizado por Coelho (2019), outros autores referem que as soluções devem ser implementadas em pequena escala, pois ainda podem ser identificadas melhorias ou ajustes necessários. Caso

os objetivos estabelecidos sejam atingidos, chega-se ao momento indicado para a implementação em larga escala. Caso não se atinja o objetivo proposto, é necessário recuar até a etapa de medição.

O desenvolvimento e implementação de melhorias é impulsionado por duas ferramentas valiosas, que vão ser utilizadas neste projeto: O 5S e o *brainstorming*.

2.2.4.1. Metodologia 5S

A implementação da metodologia 5S tem como objetivo a redução do desperdício e a melhoria do desempenho das pessoas e dos processos (Gonçalves, 2021). Esta metodologia é representada por um conjunto de técnicas de melhoria da organização dos locais de trabalho que estão na base de uma fábrica eficiente (Instituto Kaizen, 2012). As cinco ações, que caracterizam esta metodologia, devem ser executadas repetidamente, como representado na Figura 2.5.



Figura 2.5 – Esquema representativo 5S
(Fonte: Gonçalves, 2021)

Os princípios fundamentais do 5S derivam das palavras japonesas: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke*. Segundo Gonçalves (2021), a ação *Seiri* (eliminar) consiste na separação do útil e do inútil. Ou seja, nos postos de trabalho são deixados apenas elementos essenciais às operações a executar, removendo tudo o que estiver presente que seja desnecessário. Após a remoção de todos os elementos desnecessários é fundamental organizar os restantes, tornando a sua utilização eficiente. A execução desta tarefa corresponde à ação *Seiton* (organizar). Os locais de arrumação dos materiais devem ser assinalados, para que se identifique facilmente o modo correto de arrumação e a possível ausência de algum dos equipamentos. A ação *Seiso* (limpar) tem como objetivo não só a

limpeza de qualquer tipo de sujidade existente no espaço de trabalho, como também a criação de mecanismos de deteção da mesma. A limpeza do posto de trabalho facilita a deteção de anomalias e deve ser realizada de forma reiterada. A ação *Seiketsu* (padronizar) consiste na definição de padrões de comportamento para os trabalhadores nos postos de trabalho, que promovam a realização das ações acima descritas ao longo do tempo. Estas devem especificar o modo como as ações devem ser executadas. Finalmente, a ação *Shitsuke* (respeitar e melhorar), visa a conservação das ações descritas, a qual deve ser encorajada pela empresa. Para isso, são realizadas auditorias periódicas, a fim de certificar a realização das ações propostas e detetar situações alvo de possíveis melhorias.

2.2.4.2. Brainstorming

O *Brainstorming* ou “Tempestade Cerebral” é uma técnica utilizada para auxiliar uma equipa a gerar/criar ideias para resolver um determinado problema, em um curto espaço de tempo. Segundo Coelho (2019), o objetivo desta ferramenta é maximizar o fluxo de ideias, com foco na criatividade e na capacidade analítica do grupo.

Uma sessão de *Brainstorming* é uma sessão estruturada de trabalho colaborativo e criativo que ocorre de forma que as ideias de cada participante fiquem gravadas para análise futura. O objetivo passa por obter uma lista abrangente de ideias, provenientes de diferentes perspetivas, que possam ser analisadas. Sob a liderança de um facilitador, os participantes geram opiniões sobre o assunto em discussão, onde é vital que seja reconhecido que todas as ideias têm valor (Daychoum, 2016). Nesse sentido, durante a sessão, os participantes são encorajados a expressar livremente as suas ideias, sem julgamentos ou críticas.

2.2.5. Fase V – Controlar

A última etapa do ciclo tem a finalidade de garantir que as melhorias implementadas são mantidas através de métodos bem definidos. Esta etapa caracteriza-se por identificar ou desenvolver mecanismos de monitorização e controlo (Smętkowska e Mrugalska, 2018). Segundo Jacinto (2016), geralmente, são criados documentos, como protocolos de operações, realizadas formações e usadas técnicas para controlo de processos. Por outro lado, Coelho (2019) aponta para utilização de cartas ou gráficos de controlo como uma metodologia pertinente para garantir a estabilidade dos processos.

2.2.5.1. Carta de controlo estatístico

Uma carta de controlo estatístico é um método gráfico que fornece um critério para a deteção de falta de controlo estatístico, ou seja, permite detetar quando as variações observadas em qualidade são maiores do que o suposto (Rodrigues, 2012).

Segundo o autor, a carta de controlo é composta por uma linha média e pelos limites de controlo, que são construídos com base na amostragem retirada ao longo do processo de produção. Segundo Samohyl (2009), a implementação e a utilização da carta de controlo atravessam duas fases: Fase 1 – montagem do gráfico, a partir do levantamento inicial dos dados e das estatísticas calculadas; Fase 2 – monitorização do processo, através do levantamento diário dos dados do processo.

Diz-se que um processo está sob controlo estatístico quando a distribuição dos dados é perfeitamente aleatória no intervalo compreendido entre os limites de controlo superior e inferior. Caso exista um ou mais pontos da distribuição que não se encontrem entre os limites, pode-se inferir que o processo está fora de controlo estatístico.

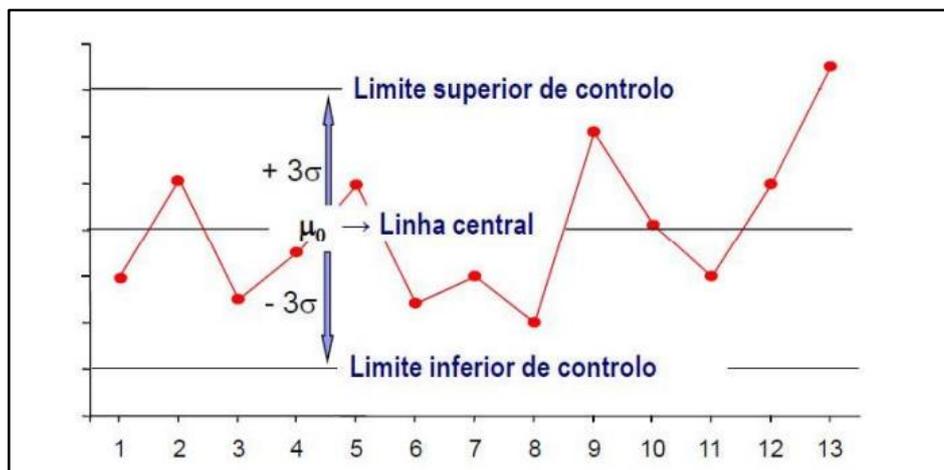


Figura 2.6 – Representação geral de uma carta de controlo. (Fonte: Rodrigues, 2012)

Os limites de controlo superior (UCL), de controlo inferior (LCL) e a linha central (ML) de uma carta de controlo, assumindo que os valores distribuídos seguem aproximadamente uma distribuição normal, podem ser calculados através das seguintes expressões:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

Equação 2.1

$$ML = \bar{\bar{X}}$$

Equação 2.2

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

Equação 2.3

Tabela 2 – Coeficientes de Shewhart para as cartas de controlo.

n	Médias		Desvio-padrão		Amplitudes	
	A2	A3	B3	B4	D3	D4
2	1,88	2,659	0	3,267	0	3,267
3	1,023	1,954	0	2,568	0	2,574
4	1,729	1,628	0	2,266	0	2,282
5	0,577	1,427	0	2,089	0	2,114
6	0,483	1,287	0,03	1,97	0	2,004
7	0,419	1,182	0,118	1,882	0,076	1,924
8	0,373	1,099	0,185	1,815	0,136	1,864
9	0,337	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816
10	0,308	0,975	0,284	1,716	0,223	1,777
11	0,285	0,927	0,321	1,679	0,256	1,744
12	0,266	0,888	0,354	1,646	0,283	1,717
13	0,249	0,85	0,382	1,618	0,307	1,693
14	0,235	0,817	0,406	1,594	0,328	1,672
15	0,223	0,789	0,428	1,572	0,347	1,653
16	0,212	0,763	0,448	1,552	0,363	1,637
17	0,203	0,739	0,466	1,534	0,378	1,622
18	0,194	0,718	0,482	1,518	0,391	1,608
19	0,187	0,698	0,497	1,503	0,403	1,597
20	0,18	0,68	0,51	1,49	0,415	1,585
21	0,173	0,663	0,523	1,477	0,425	1,575
22	0,167	0,647	0,534	1,466	0,434	1,566
23	0,162	0,633	0,545	1,455	0,443	1,557
24	0,157	0,619	0,555	1,445	0,451	1,548
25	0,153	0,606	0,565	1,435	0,459	1,541

2.3. Tipos de desperdício

Segundo Shingo (1989), desperdício é qualquer atividade ou processo que não agrega valor ao produto final. Liker e Meier (2006) definem o desperdício como qualquer coisa que não agrega valor para o cliente, já Ohno (1988) desenvolveu o conceito de “sete desperdícios”, definindo-os de acordo com Shingo (1989). Mais tarde, de sete, passaram a ser oito os desperdícios, com a adição de “talento desperdiçado” às formas de desperdício. Visto que o objetivo deste projeto passa pela redução de desperdício, é fundamental reconhecer cada uma das formas de desperdício descritas em seguida:

- Excesso de produção: Produção de itens mais cedo ou em quantidades acima do que é necessário (Liker e Meier, 2006). A transformação de processos sem necessidade gera outras formas de desperdício, como o excesso de pessoal, armazenamento e/ou transporte.

- Tempo de espera: Tempo de inatividade de recursos devido à falta de abastecimento de determinada parte da cadeia produtiva (Carreira, 2013). Remete ao desnivelamento de tempos de *setup* e/ou de transporte.
- Transporte: Deslocamento de recursos ou de *work in progress* (WIP) (Liker e Meier, 2006). Atividade que não agrega valor e pode ser evitada.
- Sobre processamento: Resíduos gerados pelo próprio processamento (Ohno, 1988), o processamento excessivo ou processamento incorreto. Desperdícios causados por falhas de processo, mau desempenho ou atividades duplicadas que não acrescentam valor e, como consequência, geram ineficiência no processo (Carreira, 2013).
- Movimentação: Todos os movimentos que não transformam o produto e não contribuem com valor, estão incluídos deslocamentos de pessoas ou equipamentos desnecessários (Shingo, 1989).
- Excesso de inventário: Refere-se ao armazenamento de matérias-primas, WIP ou produtos acabados em excesso (Liker e Meier, 2006). O excesso, além dos custos que acarreta e da utilização de recursos e espaço que ocupa, pode, ainda, resultar em mercadorias danificadas.
- Defeitos: Produção de produtos defeituosos. Reparação ou substituição para corrigir erros gera mais gasto de tempo, de esforço ou de recursos (Liker e Meier, 2006).
- Utilização deficiente dos recursos humanos: Habilidades e capacidades criativas dos funcionários mal aproveitadas, consequência da pouca envolvimento da organização com os recursos humanos e, ainda, a carência de formação aos mesmos (Liker e Meier, 2006).

3. CARATERIZAÇÃO DA EMPRESA

O presente capítulo apresenta a caracterização da empresa onde foi desenvolvido o estudo de caso. Nesse contexto, serão abordadas as principais áreas de atuação, os principais marcos da história da empresa, os produtos finais, as matérias-primas consumidas e os principais processos produtivos.

3.1. Bollinghaus Steel

A empresa foi fundada em 1889, por Hermann Böllinghaus e Johann Ludwig Härtel, com a criação de uma linha de laminação em Remscheid, Alemanha. A Bollinghaus Steel é uma empresa especialista em perfis de aço inoxidável laminados a quente e estirados a frio, que se caracteriza pela produção de perfis de alta qualidade e perfis especiais, seguindo rigorosamente as normas dos padrões internacionais.

A empresa tem como principal foco os interesses dos seus clientes e o compromisso em oferecer produtos de máxima qualidade. Para tal, a empresa adota um sistema de produção baseado na procura, o *pull production*, sob o qual a produção apenas é realizada após a entrada de encomendas. Além disso, destaca-se pela elevada flexibilidade de resposta a pedidos e pela forte adaptação às tendências do mercado.

Atualmente, a organização conta com cerca de 270 colaboradores e apresenta uma capacidade de produção que lhe permite alcançar 2 500 toneladas de aço por mês.

Os clientes da Bollinghaus Steel são, maioritariamente, provenientes de outros países da Europa e da NAFTA (tratado norte-americano de livre comércio entre os Estados Unidos, Canadá e México). Os principais clientes são armazenistas, contudo também existe relação direta com algumas indústrias, como são os casos da indústria automóvel, indústria química, indústria de construção naval, indústria de maquinaria, indústria farmacêutica e indústria aeroespacial.

3.2. História da empresa

A empresa conta com 130 anos de história e desde a data de fundação que o conceito da empresa sempre se concentrou na transformação de aço.

Atualmente, a produção é desenvolvida na totalidade em Portugal, na unidade que possui em Vieira de Leiria, embora o setor comercial da empresa se encontre somente nos escritórios da Alemanha. Além disso, a empresa conta também com um escritório de representação em Chicago (EUA) e uma filial em Milão (Itália).

1889 - Hermann Diederich Böllinghaus fundou uma linha de laminagem em Remscheid
1912 - Johann Ludwig Härtel, assume a direção da empresa
1960/1970 - Expansão da produção de perfis especiais
1980 - Início da produção de aço inoxidável
1991 - Harting Hartel assume Administração e gestão da empresa
1996 - Adquirida a fábrica de laminagem em Vieira de Leiria
2001 - Produção feita exclusivamente em Portugal
2008/2019 - Melhorias nos processos e atribuição de diversas certificações
2021 - Aquisição de um novo trem de laminagem

Figura 3.1 – História da empresa. (Fonte: Manual do colaborador Bollinghaus Steel, 2023)

3.3. Produtos

A produção da empresa é totalmente orientada para as especificidades e necessidades do cliente, garantindo sempre a melhor qualidade e oferecendo uma vasta gama de produtos que se adequam às tendências atuais do mercado.

A empresa tem capacidade para produzir inúmeros perfis diferentes, entre os quais quadrados, retangulares, hexagonais e especiais. Esses perfis podem variar ainda em largura, espessura, comprimento, qualidade do material, propriedades mecânicas e tipo de acabamento. O produto é entregue ao cliente em atados, isto é, lotes compostos por vários perfis com as mesmas características, os quais são quantificados em peso e podem variar entre 500 e 1 000 Kg.

A Bollinghaus Steel tem o sistema de gestão da qualidade certificado de acordo com diversas normas como a AS/EN/JISQ 9100 (norma de qualidade de indústria aeroespacial), a ISO 9001 (norma da gestão da qualidade), a ISO 14001 (norma de gestão ambiental) e a JIS EN (norma que garante os padrões standard da indústria Japonesa).



Figura 3.2 – Exemplo de perfis produzidos pela empresa. (Fonte: Bollinghaus Steel, 2023)

3.4. Matérias-primas

As matérias-primas utilizadas pela empresa podem ser classificadas em três famílias principais de materiais: os aços inox, as ligas de níquel e as ligas de titânio. Em cada família, existe um conjunto de qualidades (*grades*) que podem ser utilizadas na produção, apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Principais qualidades de matéria-prima utilizadas na produção.

Qualidades da matéria-prima				
EN 1.4301	EN 1.4404	EN 1.4841	EN 1.4005	17-4 PH
EN 1.4307	EN 1.4571	EN 1.1191	EN 1.4021	EN 1.4542
EN 1.4305	EN 1.4435	EN 1.2063	EN 1.4105	EN 1.4545
EN 1.4541	EN 1.4436	EN 1.2008	EN 1.4057	Duplex
EN 1.4401	EN 1.4828	EN 1.4006	EN 1.0037	Lean Duplex

De forma geral, a matéria-prima chega às instalações em lingotes quadrados, com 6 a 8 metros de comprimento, para alimentar o trem de laminagem aberto, ou em lotes de biletos (lingotes com menores dimensões) redondos/quadrados, de comprimento variável, para alimentar o trem de laminagem contínuo. Quanto à matéria-prima do setor da estiragem, esta provém, maioritariamente, do setor de laminagem, a qual chega em forma de atados.

Com o objetivo de garantir que a matéria-prima tem as propriedades necessárias ao longo de todo o processo de transformação e as propriedades finais requeridas pelos

clientes, são realizados testes de qualidade, através de ensaios mecânicos ou químicos, no laboratório de qualidade existente nas instalações da empresa.

3.5. Processos de Fabrico

Os mais de 700 produtos finais diferentes, solicitam ao fluxo produtivo uma elevada flexibilidade e exigem a cada processo de transformação, uma elevada capacidade em se adaptar ao perfil em processo. O fluxograma, presente na Figura 3.3, apresenta, de uma forma geral, os principais processos que a matéria-prima percorre até se transformar em produto final.



Figura 3.3 – Fluxo de produção geral. (Fonte: Autor do relatório)

Entre os processos representados, a laminagem e a estiragem são os processos que permitem criar maior valor acrescentado ao produto. Atualmente, existem três trens de laminagem (designação utilizada pela empresa para as linhas de laminagem), todos com a capacidade de laminar perfis redondos, quadrados, retangulares e especiais. O trem contínuo é constituído por seis caixas de laminagem em linha e permite a produção de billetes com área de secção transversal entre os 60 mm² e os 600 mm². O trem aberto é composto por cinco caixas de laminagem, nas quais são realizadas várias passagens pela matéria-prima. Este trem está habilitado à produção de perfis com área de secção transversal compreendida entre 700 mm² e os 5800 mm². O novo trem, recentemente adquirido, está habilitado para produzir perfis de maiores dimensões, com área transversal de 3500 mm² a 10000 mm². Este novo trem é composto apenas por uma caixa de laminagem, onde a matéria-prima realiza múltiplas passagens, percorrendo uma trajetória unidirecional.

O material depois de laminado e de sofrer os subprocessos requeridos, chega à estiragem. No setor da estiragem, a matéria-prima é processada em uma das duas linhas de estiragem, ambas com a capacidade para produzir perfis retangulares, quadrados, hexagonais e especiais, diferenciando-se, essencialmente, pela capacidade dimensional. A *Cold Drawing 1* (CD 1) é a linha mais antiga e está habilitada a produzir perfis cuja área de secção transversal seja inferior a 2000 mm². A *Cold Drawing 2* (CD 2) é uma linha recentemente adquirida e, portanto, mais automatizada do que a primeira. Esta linha apresenta também maior capacidade dimensional, dado que está habilitada para produzir perfis com área de secção transversal superior a 1200 mm². Em qualquer uma das linhas, a matéria-prima percorre os processos de *pré-coating*, estiragem, lavagem e corte.

O *pré-coating*, representado na Figura 3.4, envolve a imersão do material num banho de estiragem, com o objetivo de facilitar a adesão do óleo durante o processo de estiragem. As condições deste banho desempenham um papel crucial, portanto é necessário controlar a sua composição, temperatura e duração. A temperatura deve ser mantida entre os 40°C e os 60°C, enquanto o material precisa permanecer submerso por um período determinado, geralmente entre 5 a 10 minutos.



Figura 3.4 – Tanque de *Pré-Coating* em CD 2.

O processo de estiragem, abordado na próxima secção, é o processo responsável por atribuir aos perfis diferentes propriedades mecânicas e acabamentos superficiais exímios. Este processo consiste na passagem de uma barra por uma fieira (Figura 3.5), enquanto é puxada por uma força matriz aplicada por um carro tracionado. Neste processo, a fieira utilizada é responsável por conferir o formato transversal ao perfil. Inicialmente, é aplicada também uma força de extrusão, denominada no setor por “empurro”, com o objetivo de posicionar uma das extremidades da barra a jusante da fieira para, posteriormente, puder ser aplicada a força de tração e, assim, realizar a estiragem. A utilização de óleo é essencial para evitar danos no perfil e na fieira, uma vez que permite a redução de tensões superficiais e de atrito, facilitando a passagem da barra pela fieira. Posteriormente, a lavagem ocorre com o objetivo de remover esse óleo, através de um banho automático à temperatura de 70° C.



Figura 3.6 – Máquina de estiragem em CD 2.



Figura 3.5 – Fieira para estiragem de perfil retangular.

No que diz respeito ao processo de corte dos estirados, este é o processo responsável por segmentar a barra estirada em uma ou duas barras finais, de acordo com os limites de comprimento especificados pelos clientes ou pelas normas padrão seguidas pela empresa. Nesse processo, são removidas as extremidades da barra estirada, designadas por pontas de sucata, visto que apresentam a presença de defeitos, típicos dessas zonas da barra. Desta forma, garante-se que é enviado para o cliente secções transversais lisas nas extremidades e comprimento de barra, sem a presença de defeito, de acordo com os limites estabelecidos.



Figura 3.7 – Máquinas de corte em CD 2.

Embora não pertença ao setor da estiragem, a fresagem é um setor de apoio à estiragem. Nesse setor, são realizados dois processos, a fresagem (Figura 3.9) e o ponteamto (Figura 3.8), ambos com o objetivo de remover massa numa das extremidades de cada barra dos atados, de modo a facilitar a entrada dessas extremidades na fieira. Estes processos são utilizados, maioritariamente, em perfis com dimensões menores visto que, embora o empurrador utilizado na estiragem tenha capacidade suficiente para garantir a força necessária para a extremidade da barra atravessar a fieira, muitas vezes, a força exercida causa deformações ou quebra das pontas, derivado de mau alinhamento do perfil com o orifício da fieira. Para evitar esses problemas, a fresagem garante que a dimensão da área transversal na extremidade da frente seja inferior à dimensão tal da fieira, possibilitando que a introdução da ponta na fieira seja realizada manualmente, sem que exista a necessidade de utilizar a elevada força de extrusão provocada pelo empurrador, facilitando, dessa forma, o processo de estiragem e garantindo eficiência e qualidade na produção do produto final.



Figura 3.9 – Máquina de fresagem.



Figura 3.8 – Máquina de ponteamto.

O fluxo de produção é concluído no setor de embalagem, onde os atados são embalados e pesados antes de serem finalmente expedidos.

3.5.1.1. Estiragem

A estiragem a frio é uma das mais antigas operações de conformação de metais e tem grande relevância a nível industrial. O processo baseia-se na utilização da deformação plástica associada ao material para permitir a redução da área da secção transversal e/ou alteração da forma geométrica da secção de uma barra, que é tracionada por uma força matriz, enquanto atravessa uma fieira com dimensões tais.

Este processo permite que o material adquira maior resistência mecânica, acabamentos superficiais exímios e dimensões rigorosamente controladas ao longo de todo o comprimento (Kumar e Agnihotri, 2013). Não existe qualquer perda de massa no processo e, portanto, a redução provocada na área transversal resulta em um aumento do comprimento da barra. Segundo Zhang (2011), o processo de estiragem, quando aplicado a barras com a temperatura de pós laminação, permite aumentar a resistência à tração de 17 % a 27 %. No entanto, a fragilidade do material aumenta e o alongamento diminui.

4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC

4.1. Fase I – Definir

Esta secção considera a primeira fase do ciclo DMAIC. Nesta fase, procede-se à definição do problema a abordar, à definição da equipa de melhoria e à descrição das fronteiras do projeto, delineando-se o plano de execução a ser implementado. Além disso, é nesta fase que são definidos os principais objetivos do projeto.

4.1.1. Pontas de sucata

Um dos problemas inerentes ao fluxo produtivo de qualquer produto é a produção de desperdício. O fluxo de produção dos produtos Bollinghaus Steel não é exceção, no qual se destaca a elevada produção do desperdício de sucata. A produção de sucata é inevitável quando o processo produtivo é extenso e apresenta uma variabilidade considerável. Ao longo de todo o percurso percorrido pela matéria-prima, ocorrem perdas de massa que impedem que o peso final do material processado seja igual ao peso inicial da matéria-prima que o originou.



Figura 4.1 – Desperdício de pontas de sucata.

O desperdício pontas de sucata, designado também como sucata ao longo do documento, trata-se do desperdício de material decorrente da remoção das extremidades das barras estiradas, durante o processo de corte do setor da estiragem. Esse procedimento visa assegurar que o comprimento das barras enviadas ao cliente está em conformidade com os limites estabelecidos pelo mesmo ou pelas normas aplicadas. Além disso, a remoção das pontas é também realizada para remover defeitos, característicos das pontas, que possam comprometer a qualidade do produto final. De acordo com os “oito desperdícios”, as pontas de sucata podem ser classificadas em duas categorias distintas: sobre processamento e defeitos.

Os atados antes de serem estirados, são laminados sob a forma de lingotes ou billetes, onde estes sofrem um processo de redução de área transversal considerável através de várias passagens em caixas de laminagem, compostas por cilindros com gornes com menor espessura de saída do que a espessura do lingote. A deformação permite a redução da secção e o aumento do comprimento da barra. No entanto, durante o processo, as pontas das barras tendem a contrariar a força de deformação imposta pelos cilindros assim que o atravessam, provocando deformações nas extremidades. A maior parte desses defeitos são cortados nos trens de laminagem, no entanto, as “traças” utilizadas para o corte provocam um acabamento nas extremidades com baixa qualidade e, como consequência, as barras chegam ao setor da estiragem com defeito nas pontas.

Contudo, o defeito é aceite pelo setor da estiragem, visto que o processo de estiragem necessita que exista atrito entre a extremidade da barra e os mordentes do carro responsável pela força tração. Em alguns casos, nomeadamente em perfis com menores dimensões, são aplicados também os processos de fresagem, responsáveis por remover massa numa das extremidades das barras e, nesse sentido, provocar defeito. Além disso, a própria passagem da ponta na fieira, durante o processo extrusivo, deixa uma marca visível, denominada por defeito “espelho”. Desta forma, entende-se que o defeito é inerente ao processo, sendo inevitável a sua produção.

Naturalmente, os defeitos não podem chegar até ao cliente e por isso são eliminados no processo de corte. Além disso, as especificações dos clientes indicam que as barras finais não podem ultrapassar determinados limites de comprimento, pelo que o excesso de comprimento das barras, derivado de margens de segurança dadas pelo planeamento para combater a variabilidade de todo o fluxo de produção, são também

removidas no processo de corte, englobando-se, desta forma, como parte das pontas de sucata.

4.1.2. Definição do problema e dos objetivos

De acordo com o gráfico da Figura 4.2, em 2022, o setor da estiragem teve, em média, a produção mensal de 665 toneladas, da qual resultou o desperdício de cerca de 29 toneladas de pontas de sucata por mês, verificando-se uma média anual de 4,16% de pontas de sucata, em relação à quantidade produzida.

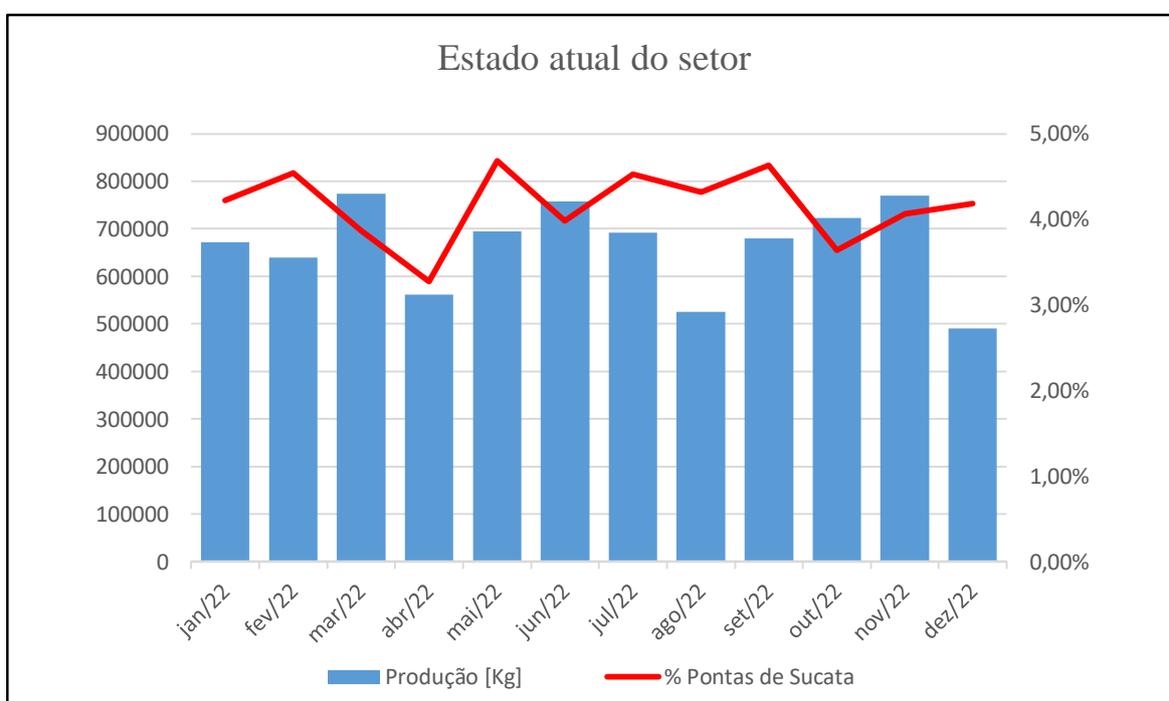


Figura 4.2 – Variação do indicador de sucata ao longo do ano de 2022.

Sendo o preço de venda de produto acabado, em média, 5 €/Kg, enquanto o preço de venda das pontas a uma empresa de sucata, equivale a 2 €/Kg. Isto quer dizer que por quilograma sucitado, a empresa perde um total de 3 euros. De acordo com a produção de 2022, conclui-se que as pontas de sucata produzidas significaram um prejuízo a rondar os 87 mil euros por mês e acima de 1 milhão de euros ao final de um ano.

Infelizmente, o desperdício pontas de sucata é inerente ao setor da estiragem e a sua eliminação é de todo impossível, no entanto, entende-se que existe margem para minimizar a sua produção. Associada à elevada produção desse desperdício, existe também

uma grande preocupação por parte da empresa com a variabilidade observada nos comprimentos das pontas de sucata.

Posto isto, estabeleceu-se como objetivo, até 30 de junho de 2023, a redução de 4% do indicador de pontas de sucata registado no ano de 2022. Como evidenciado na Tabela 4, alcançando-se os objetivos, o indicador de sucata do setor reduziria para 3,99% e, tendo por base a quantidade de produção de 2022, essa redução permitiria à empresa obter um benefício financeiro de quase 42 mil euros ao fim do ano, aumentando as suas receitas em média para cerca de 3,5 mil euros por mês.

Tabela 4 – Impacto financeiro dos objetivos definidos.

Ano	% Pontas de Sucata	Qtd. Sucata mensal	Resultado mensal	Resultado anual
2022	4,16 %	28 865 Kg	- 86 594 €	- 1 039 132 €
2023	3,99 %	27 710 Kg	- 83 131 €	- 997 567 €
Benefício	-0,17 %	- 1 155 Kg	+ 3 464 €	+ 41 565 €

Além disso, estabeleceu-se também como objetivo reduzir 5% a variabilidade registada nas percentagens de sucata dos atados produzidos no setor, até 30 de junho de 2023. Este objetivo está diretamente relacionado com a variabilidade observada no comprimento de pontas de sucata, acima mencionada. A variabilidade da percentagem de sucata do estado atual do setor não está quantificada e, apenas o vai ser, na segunda fase do ciclo DMAIC, após a análise de dados de anos anteriores do setor e através do cálculo do nível sigma do processo.

4.1.3. Definição da equipa de melhoria

Nesta fase, é essencial definir a equipa responsável pelo projeto e estruturá-la de acordo com a secção 2.1. Nesse sentido e após uma cuidadosa avaliação dos elementos da empresa que possuíam conhecimentos relevantes e que demonstraram interesse no tema do projeto, foi realizada a formação da equipa de melhoria, a qual é apresentada na Tabela 5.

A seleção da equipa foi baseada no nível de formação de cada membro e na capacidade de contribuir de forma efetiva para os objetivos do projeto.

Tabela 5 – Equipa do projeto de melhoria.

<i>Champion</i>	Nuno Parreira (Diretor Operações)
<i>Black belt</i>	Nélio Mourato (Supervisor Eng. de Processo)
<i>Green belt</i>	João Ferreira (Autor do relatório)
<i>Yellow belt</i>	Miguel Coelho (Eng. de Processo Estiragem)
	Petro Paskar (Supervisor Estiragem)
<i>White belts</i>	Colaboradores do setor

4.1.4. Definição do plano de melhoria

O plano de execução foi elaborado com o objetivo de delimitar a duração do projeto a um período de 3 meses e meio, compreendendo metade do mês de fevereiro e os meses de março, abril e maio.

A estrutura adotada para o plano de melhoria segue a sequência DMAIC, garantindo uma abordagem sistemática e eficaz para a implementação de melhorias. As etapas a serem realizadas, bem como as datas planeadas para cada uma delas, estão detalhadas no plano do projeto de melhoria, presente no Apêndice A. Para uma compreensão mais abrangente desta fase de definição, recomenda-se a consulta do *Project Charter*, disponível no mesmo apêndice, que contém todas as informações relacionadas com o projeto realizado.

4.1.5. Delimitação das fronteiras do sistema

São vários os inputs que podem influenciar a sucata produzida, (diagramas SIPOC). As condições destas operações devem ser otimizadas com o objetivo de obter produtos de elevada qualidade.

As fontes de variação, as quais podem ser traduzidas em desperdício, podem ter origem em vários momentos do processo produtivo. De acordo com a Figura 4.3, o presente estudo de caso pretende incidir apenas no setor da estiragem e no respetivo setor de apoio.

O setor da estiragem é composto por duas linhas de produção, cada uma delas com uma máquina de estiragem adequada a uma determinada gama de perfis, de acordo com a secção 3.5. Cada linha é composta também por um tanque de *pré-coating*, uma máquina de lavagem automática e por uma ou mais máquinas de corte. Na CD 1 apenas é utilizado a

máquina de corte por disco abrasivo, enquanto na CD 2 existem duas máquinas de corte por disco e uma máquina de corte por fita.

Além dos processos incorporados no setor, também os processos do setor de apoio à estiragem, nomeadamente o processo de fresagem e o processo de ponteamento, pertencem ao sistema em estudo. Ao longo do relatório, a referência a fresagem vai ser utilizada para denominar ambos os processos, visto que são dois processos com a mesma finalidade.

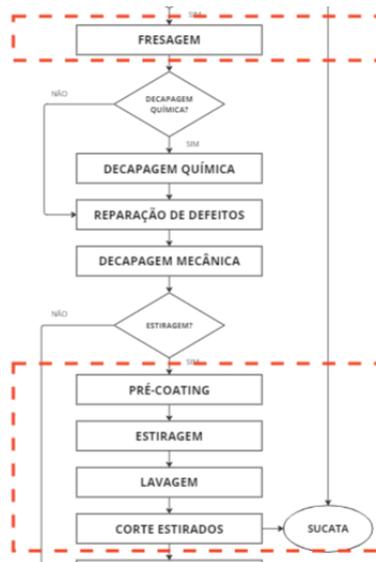


Figura 4.3 – Delimitação das fronteiras do projeto.

4.1.6. Caracterização do processo

O processo de produção do setor segue uma sequência lógica de procedimentos a realizar pelos operadores de ambos os turnos e, portanto, o processo é definido. No entanto, ao longo do fluxo produtivo existe muita dependência da mão-de-obra, de tal modo que se pode afirmar que a variabilidade é inerente ao processo, principalmente na fase de corte onde existe uma grande dependência da atenção e avaliação humana.

Além disso, a experiência de cada operador é diferente, pelo que algumas ações podem ser realizadas de forma distinta de operador para operador, dependendo do nível de standardização do processo. A troca de turnos e as diferentes equipas de trabalho do setor são outros aspetos que contribuem para a variabilidade, visto que são aplicadas diferentes formas de gestão do trabalho. Relacionado ainda com a variabilidade, a troca de pessoal entre setores ou entre postos de trabalho é outro fator que pode gerar fontes de variação, visto que quando a troca é realizada por pessoas com pouca experiência, poderá estar a ser comprometida a boa execução das operações.

4.1.7. Voz do cliente

Um dos princípios empresariais da Bollinghaus é o foco no cliente e a principal forma de garantir a satisfação dos clientes é a produção do material por encomenda, comprometendo-se a entregar os produtos dentro dos requisitos e dos prazos estipulados. Por outro lado, existe a possibilidade de haver exceções quando a empresa tem uma necessidade de produção elevada e demonstra dificuldades em responder a problemas internos inesperados como a falha no fornecimento de processos intermédios ou produção de barras curtas (não conformidades), por exemplo.

A estiragem que representa um conjunto de processos intermédios, tem a responsabilidade de abastecer de forma regular o setor seguinte do fluxo de produção de forma a evitar que existam tempos de paragem de produção, provocados pela falta de material. Desta forma, se a estiragem, assim como todo o setor intermédio, cumprir os prazos planeados de produção, é possível prever que os prazos de entrega de encomenda estabelecidos inicialmente sejam cumpridos, evitando a insatisfação dos clientes. No mesmo sentido, é imprescindível que cada secção produtiva responda aos requisitos impostos pela secção seguinte, de forma a evitar problemas de produção e produtos não conformes.

A secção a jusante ao setor da estiragem, ou seja, o cliente interno mais próximo do processo em estudo é o desempenho. O desempenho impõe à estiragem que sejam cumpridos os seguintes requisitos: conformidade dimensional, comprimento dentro das especificações impostas pelo cliente final (cliente externo) e produto sem presença de defeitos na superfície. Dessa forma, o papel da estiragem é desempenhar o seu processo produtivo de modo a satisfazer os requisitos impostos pelo setor do desempenho dentro do prazo planeado, atendendo à menor quantidade desperdício possível.

4.1.8. SIPOC

Utilizou-se a ferramenta SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output e Customer*) com o objetivo de obter uma compreensão clara e estruturada dos processos no setor da estiragem. Esta ferramenta foi empregue para definir, de forma simples e concisa, os elementos-chave desses processos. Através do SIPOC identificou-se as principais partes interessadas, as principais entradas e saídas dos processos, bem com as principais atividades realizadas.

Os SIPOC dos processos de *pré-coating*, estiragem, lavagem e corte foram elaborados e estão disponíveis no Apêndice B. Esses SIPOC fornecem uma visão abrangente e estruturada de cada um dos processos, permitindo uma compreensão detalhada do fluxo de trabalho, das interações e dos pontos-chave em cada etapa do processo.

4.2. Fase II – Medir

Esta secção aborda a segunda fase do ciclo DMAIC, cujo objetivo passa pela recolha dos dados que caracterizam o sistema atual. A estrutura adotada está alinhada de acordo com o plano traçado na etapa anterior, no qual a definição do nível sigma e do sistema de recolha de dados são definidos após a análise dos dados dos anos anteriores. Além disso, recorreu-se ao mapeamento do fluxo de valor do processo de corte nesta fase, dado que a recolha de dados será realizada a partir desse processo.

4.2.1. Seleção e definição dos KPIs

Os KPIs são os indicadores-chave de desempenho utilizados para medir o progresso e o sucesso de um projeto. Estes são métricas quantitativas que fornecem uma visão objetiva do desempenho em relação aos objetivos estabelecidos. Além disso, é através dos KPIs que se pretende identificar oportunidades de melhoria e estabelecer prioridades corretivas. No contexto do problema mencionado na secção 4.1.2., definiu-se como indicadores-chave deste projeto a percentagem de pontas de sucata e o nível sigma do setor.

Considerando-se todas as restantes perdas de massa no setor da estiragem como insignificantes, a percentagem de pontas de sucata, ou apenas de sucata, é o indicador que se refere ao quociente entre a quantidade de desperdício de sucata e a quantidade final produzida. Este indicador pode ser utilizado para avaliar cada atado, cada variável do fluxo produtivo, cada característica de produto ou o setor no seu todo, de acordo com a equação:

$$\% \text{ Pontas de Sucata } (x) = \frac{\text{Peso das pontas de Sucata } (x)}{\text{Peso do estirado final } (x)}$$

Equação 4.1

A aferição dos pesos necessários para a determinação deste indicador é realizada pelos operadores. No caso do peso do produto final, este é medido através de pontes rolantes acopladas com balanças, enquanto o peso das pontas de sucata é medido através de balanças

disponíveis nas linhas do setor, junto das zonas dos processos de corte. Posteriormente, ambas as medições são registadas no *software* Movilizer, que é o *software* utilizado pelo setor para registos dos dados da produção. O impacto financeiro deste indicador é determinado através da relação de 3€/Kg de sucata produzida, considerando-se que a perda monetária é constante e proporcional ao peso.

No que diz respeito ao segundo indicador, o nível sigma é calculado de forma global para todo o setor, através da relação direta com o valor de DPMO (defeito por milhão de oportunidades), a qual será abordada na última secção da fase medir.

4.2.2. Análise dos dados referentes a 2020, 2021 e 2022

Antes de ser iniciada a recolha e análise dos dados que caracterizam o estado atual do setor, é fundamental analisar a informação referente aos anos de 2020, 2021 e 2022. A análise retrospectiva do histórico recente do setor possibilita a identificação de tendências e padrões relevantes relacionados com a produção significativa de sucata. Adicionalmente, o propósito desta análise é determinar as variáveis de fluxo produtivo do setor ou as características de produto com tendência para maior desperdício de sucata, permitindo direcionar o sistema de recolha de dados para essas variáveis específicas e possibilitando a análise da sua influência de forma mais precisa e abrangente.

Nesse sentido, além da utilização do indicador percentagem de pontas de sucata definido na secção anterior, foi também utilizado o indicador percentagem de sucata ponderada, permitindo que o processo de comparação entre as variáveis em análise tivesse em consideração a quantidade de contribuição das mesmas para a produção do setor. Este indicador foi utilizado para avaliar as variáveis do fluxo produtivo e as características variáveis de produto, de acordo com a equação 4.2.

$$\% \text{ Sucata Ponderada}(x) = \frac{\text{Peso das pontas de Sucata}(x)}{\text{Peso do desperdício total do setor}} \% \text{ Pontas de Sucata}(x)$$

Equação 4.2

Atendendo que no contexto industrial é de extrema importância ter em conta a credibilidade da informação registada e que é comum ocorrerem erros na recolha de dados, quer devido à má inserção por parte do operador quer por parte de eventuais erros de programação/conexão dos servidores, precedeu-se à seleção dos dados recolhidos, dos quais

foram descartados apenas os valores sobre os quais existiam garantias de que estavam associados a erros.

A análise realizada incidiu, em primeira instância, na contribuição para a sucata de cada linha de estiragem e de cada tipo de corte utilizado no setor. Posteriormente e utilizando o mesmo método, analisou-se a contribuição para a sucata de cada um dos atributos de produto, especificados pelos clientes. Uma vez que atualmente são produzidos em quantidades variáveis mais de 700 produtos, a possibilidade de analisar individualmente cada perfil específico foi descartada, dado que a contribuição para a percentagem global de sucata do setor de forma isolada é pequena. Contudo, identificaram-se os oito perfis específicos (especificidade relativa apenas ao tipo de perfil e respetiva dimensão) que mais contribuíram para a produção de sucata do setor. Os resultados retirados de toda a análise do histórico recente do setor, podem ser observados no Apêndice C, cujas principais conclusões serão apresentadas de seguida.

A percentagem de sucata registada no período analisado é de 4,13%, ligeiramente inferior à percentagem média registada somente no ano de 2022, apresentada na secção 4.1.2., e representa cerca de 780 mil toneladas de desperdício resultante da produção realizada durante o período.

4.2.2.1. Linha de estiragem

O setor da estiragem é composto, como referido anteriormente, por duas linhas de estiragem, a CD 1 (Figura 4.4) e a CD 2 (Figura 4.5). Estas duas linhas diferem, essencialmente, na gama de dimensões que estão habilitadas a produzir, de acordo com o que foi mencionado na secção 4.1.5.



Figura 4.4 – CD 1.



Figura 4.5 – CD 2.

Durante o período analisado, a CD 1 representou 34% da produção do setor, enquanto a CD 2 representou os restantes 66%. A média (aritmética) obtida da percentagem de sucata gerada na primeira linha de estiragem é de 5,04% e a média ponderada alcançou os 2,09%. A segunda linha de estiragem, embora seja responsável por mais quantidade de desperdício, obteve uma média de percentagem de sucata de 3,66% e de 2,14% no que diz respeito a sucata ponderada. Quanto à variabilidade, a linha CD 1 é a linha que apresenta uma maior dispersão dos dados, de acordo com o gráfico da Figura 4.6.

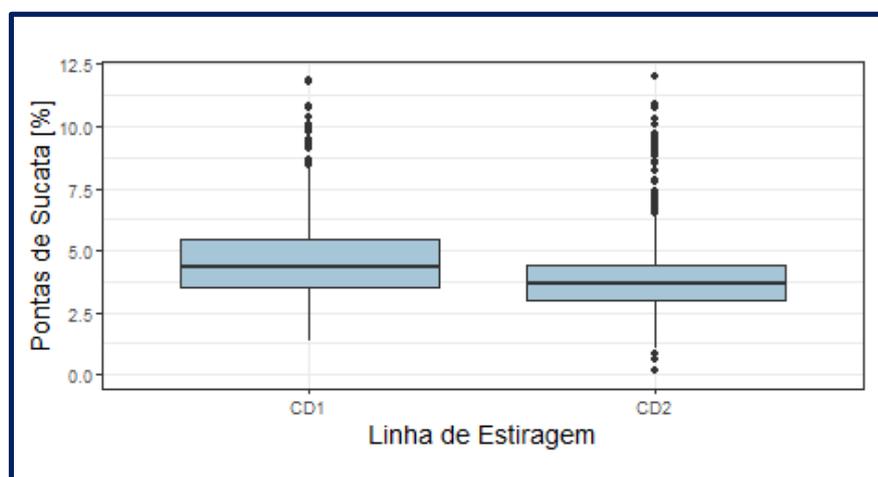


Figura 4.6 – Variabilidade da percentagem de sucata para cada linha de estiragem.

Entende-se que, para a mesma quantidade de produção, a CD 1 é a linha que representa mais desperdício. No entanto, a CD 2 é a linha responsável por cerca de dois terços da produção. Neste ponto de vista, pretende-se incluir ambas as linhas na fase de recolha e análise de dados.

4.2.2.2. Tipo de corte

O corte no setor da estiragem pode ser realizado de duas formas distintas, através de disco abrasivo ou através de fita de corte. O corte por fita (Figura 4.8) é o tipo de corte menos utilizado, contribuindo apenas para cerca de 20% da produção do setor no período em análise. Este tipo de corte apresenta um tempo de processamento elevado e é somente utilizado na CD 2 em perfis cujas dimensões elevadas não são indicadas para o outro tipo de corte. O corte de disco (Figura 4.7), por sua vez, contribui para 80% da produção do setor, sendo utilizado em ambas as linhas de estiragem.



Figura 4.8 – Corte por fita de corte.



Figura 4.7 – Corte por disco abrasivo.

A média da percentagem de sucata registada no corte por disco é 4,22%, enquanto no corte por fita se obteve o valor de 3,78%. Quanto à média ponderada da percentagem de sucata de cada tipo de corte, obteve-se 3,42% e 0,71% para o corte por disco e corte por fita, respetivamente. No que diz respeito à variabilidade, concluiu-se que os resultados da produção de sucata apresentam maior dispersão quando considerado o corte por disco apesar de, neste parâmetro, não se diferenciar significativamente, como demonstra o gráfico da Figura 4.9.

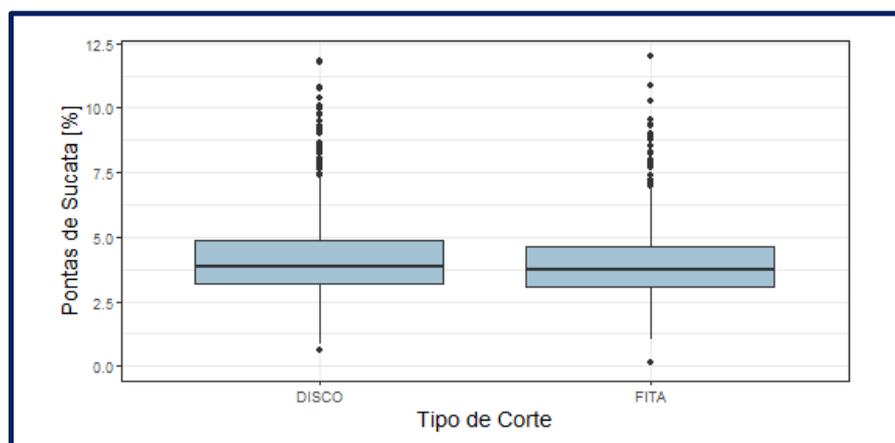


Figura 4.9 – Variabilidade da percentagem de sucata para cada tipo de corte do setor.

A média ponderada da percentagem de sucata proveniente do corte por disco é cerca de cinco vezes superior à do corte por fita, resultado essencialmente da taxa de utilização de cada um. Nesse sentido, entende-se que o corte por fita não contribui

significativamente para a produção de sucata do setor e descartou-se essa variável da fase de recolha e análise de dados.

4.2.2.3. Tipo de Perfil

O perfil é o atributo especificado pelo cliente que diz respeito à forma geométrica da secção transversal de cada barra. Na Figura 4.10 estão representados alguns dos perfis produzidos pelo setor. Os perfis standard produzidos no setor são os perfis retangulares, quadrados e hexagonais. Além destes, existe ainda uma elevada gama de perfis especiais, onde se pode identificar perfis com as mais variadas formas geométricas, entres os quais os perfis faca, round flat, flat ovais, entre outros. Esses perfis especiais são perfis que resultam de um desenvolvimento conjunto entre a empresa e o cliente. Para efeitos de análise, analisou-se todos os perfis deste cariz como perfis especiais.

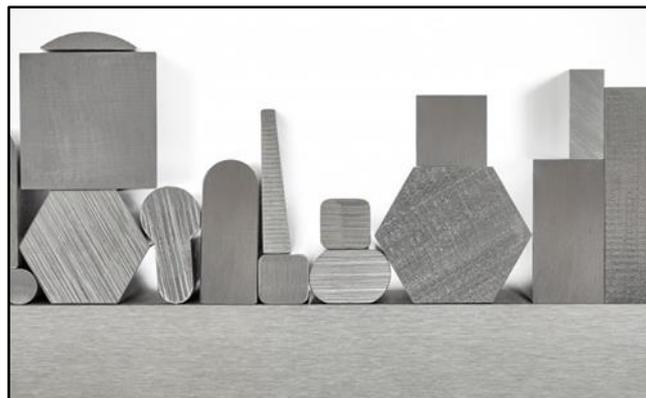


Figura 4.10 – Exemplo de alguns dos tipos de perfis produzidos no setor (Fonte: Bollinghaus Steel, 2023).

Os perfis standard representam cerca de 98% da produção no setor no período em análise, onde os perfis retangular, quadrado e hexagonal representam cerca 36%, 35% e 27%, respetivamente. O perfil quadrado é o tipo de perfil standard que apresenta menos percentagem de sucata, com uma percentagem de 3,65%, por outro lado, os perfis retangulares e hexagonais apresentam 4,32% e 4,21%, respetivamente. Quanto aos perfis especiais, o valor relativo à percentagem de sucata apresentou-se bastante elevado, com cerca de 7,94 %. Entende-se que este valor é explicado pelo facto de existir pouco conhecimento sobre este tipo de perfis e pelo seu processo de fabrico. Justifica-se da mesma forma, a elevada variabilidade observada na percentagem de sucata de perfis deste cariz. Quanto à variabilidade registada nos perfis standard, o perfil quadrado destaca-se dos outros

dois por ser o perfil que apresenta menos variabilidade, como é demonstrado no gráfico da Figura 4.11.

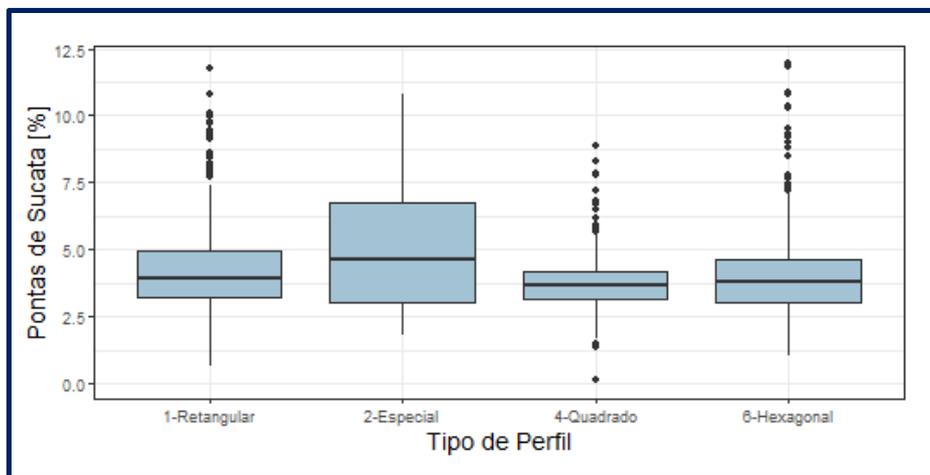


Figura 4.11 – Variabilidade da porcentagem de sucata para cada tipo de perfil.

O perfil retangular apresenta 1,61% de sucata ponderada, distinguindo-se como o perfil com mais influência na sucata do setor. Os perfis quadrados e hexagonais apresentaram 1,14% e 1,17%, respectivamente. Neste parâmetro de avaliação, os perfis especiais apresentaram um resultado pouco significativo.

Perfis específicos com mais impacto no desperdício do setor

Entre os tipos de perfis standard, decidiu-se analisar e quantificar a influência de cada dimensão específica na produção de sucata. Tendo em conta que cerca de 20% dos perfis dimensão produzidos no setor representam cerca de 80% do desperdício verificado no período de análise, decidiu-se quantificar a porcentagem de sucata ponderada de cada perfil dimensão e identificar os oito perfis dimensão com mais impacto na sucata produzida no setor durante o período analisado. O termo perfil dimensão é a designação concedida aos atributos especificados pelo cliente referentes tanto à forma geométrica da área de secção como aos respetivos parâmetros de medida. No caso dos perfis quadrados (Qua) e dos perfis hexagonais (Hex), o parâmetro de medida utilizado diz respeito ao comprimento de cada lado, enquanto nos perfis retangulares (Ret) o parâmetro de medida é representado pelo comprimento da base e da altura. Para a análise de dados, utilizou-se as medidas *pré-size*, representadas em milímetros (mm) em vez de as medidas verificadas no produto final, visto que os dados recolhidos se apresentavam da mesma forma.

Os oito perfis dimensão, assim como os principais parâmetros de análise e comparação, encontram-se representados na Tabela 6.

Tabela 6 – Perfis dimensão com mais impacto na sucata do setor.

Perfil Dimensão	Hex 28,5	Qua 41	Qua 31	Ret 41 x 11	Qua 26	Qua 39,75	Qua 51,5	Hex 24,5
Desperdício Total [Kg]	34 003	52 327	30 295	16 795	25 477	19 181	16 838	10266
% Pontas de Sucata	5,62%	3,36%	3,62%	6,12%	3,86%	3,68%	3,67%	5,91%
% Pontas de Sucata Ponderada	0,25%	0,23%	0,14%	0,13%	0,13%	0,09%	0,08%	0,08%

O perfil quadrado 41 é o perfil dimensão que mais foi produzido no setor e também o que mais sucata gerou. No entanto, esse perfil dimensão apresentou uma percentagem de sucata muito reduzida, 3,36%, observando-se que o produto mais produzido é um dos que gera menos desperdício. O hexágono 28,5 é o perfil que apresentou a percentagem de sucata ponderada maior e, por isso, distingue-se como o perfil dimensão com mais impacto na sucata do setor. Esse perfil dimensão apresentou 5,62% de percentagem de pontas de sucata. Entre os oito perfis dimensão com mais impacto na sucata do setor, o perfil retangular 41 x 11 foi o que apresentou maior percentagem de sucata, nomeadamente 6,12%.

A definição dos oito perfis dimensão com maior impacto na sucata do setor tinha como objetivo inicial definir os perfis dimensão para a recolha e análise de dados. Contudo, devido ao plano de produção da estiragem definido pelo planeamento para o período de recolha dados, foi descartada a possibilidade de apenas serem recolhidas amostras desses perfis dimensão.

4.2.2.4. Tipo de qualidade do material

A qualidade ou *grade* do material diz respeito à composição do material de cada atado. Para a análise dos dados, as qualidades serão abordadas de acordo com a designação atribuída pela norma europeia (EN).

Existem três qualidades que consideradas em conjunto representam mais de 85% do desperdício gerado no setor no período de análise, como é evidenciado pelo gráfico de *Pareto* presente na Figura 4.12. A qualidade EN 1.4307 é a qualidade responsável por mais desperdício e representa mais de 40%, enquanto as qualidades EN 1.4305 e EN 1.4404 representam os restantes 45%.

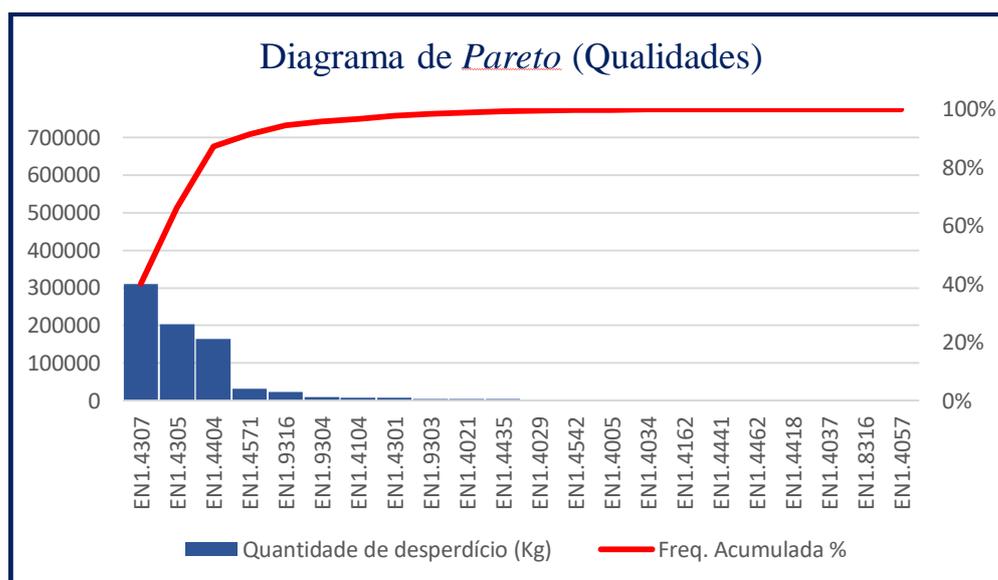


Figura 4.12 – Diagrama de Pareto (Qualidades).

As qualidades EN 1.4307, EN 1.4305 e EN 1.4404 apresentaram percentagens de pontas de sucata igual a 4,08%, 3,91% e 4,28%, respetivamente. Embora os valores observados estejam de acordo com a percentagem geral do setor, estas qualidades apresentam uma média ponderada de sucata elevada dado o valor da sua quantidade de desperdício. Neste sentido, entende-se que estas são as qualidades com mais impacto na produção de sucata do setor, no entanto não se descartou da análise e recolha de dados qualquer qualidade, visto que o impacto apenas está dimensionado pelos elevados níveis de quantidade de produção.

4.2.2.5. Especificação de corte

A especificação de corte diz respeito à especificação ou norma para os limites de comprimento do produto final. Este atributo é representado através de um intervalo, onde compete ao operador de corte garantir que os comprimentos das barras enviadas para o cliente se encontram entre o limite inferior de corte (LIC) e o limite superior de corte (LSC).

Para efeitos de análise e tratamento de dados, cada especificação de corte vai ser representada pelo respetivo LSC.

Dentro do setor, os cortes com LSC igual a 3200 mm e 3963 mm são os dois cortes standard e seguem, respetivamente, a norma europeia e a norma americana, que são as duas normas seguidas pela empresa. Além destes dois tipos de corte, existem outros tipos de cortes, denominados de cortes especiais, isto porque os limites desses cortes resultam de requisitos específicos de clientes e caracterizam-se por apresentarem menores tolerâncias. Os dois cortes standard representam em conjunto cerca de 71% do desperdício do setor, onde o corte com LSC 3200 mm representa mais de metade da sucata gerada no período de análise.

No gráfico apresentado na Figura 4.13, além de estarem representados os dois cortes standard, estão também representados os dois cortes especiais mais utilizados no setor.

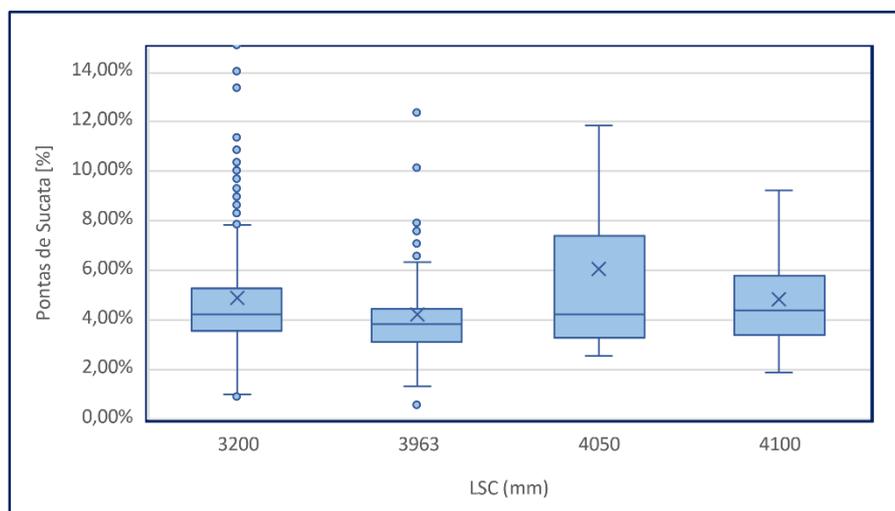


Figura 4.13 – Variabilidade da percentagem de sucata para as especificações de corte.

A partir da análise do gráfico, entende-se que os cortes especiais apresentam maior variabilidade no que diz respeito à produção de sucata quando comparados com os dois cortes standard. Quanto à percentagem de sucata, ambos os cortes standard apresentaram valores relativamente baixos, onde o corte com LSC 3200 mm obteve um valor médio de 3,99% e o corte com LSC 3963 mm apresentou um valor médio de 3,80%. No que diz respeito aos cortes que não seguem as normas seguidas pela empresa, estes apresentaram valores médios mais altos, sendo 5,29% e 4,92% para o LSC 4100 mm e LSC 4050 mm, respetivamente. Entende-se que estes resultados são justificados pelo facto de existir maior conhecimento por parte da organização sobre a quantidade de matéria-prima necessária para a produção de barras segundo os limites de corte standard. Além disso, outro fator que ajuda

a justificar os resultados obtidos, é o facto de os cortes especiais apresentarem tolerâncias de corte mais reduzidas e exigirem maiores margens de segurança, de modo a evitar a produção de barras curtas, ou seja, de produto considerado não conforme. Nesse sentido, entende-se que um bom indicador para reduzir a sucata produzida no setor seria conseguir que os clientes adquirissem apenas produtos que cumprissem as especificações de acordo com as normas seguidas pela empresa.

Quanto à média ponderada de percentagem de pontas de sucata, os cortes standard com LSC 3200 e LSC 3963 registaram 2,11% e 0,70%, respetivamente. Os dois cortes especiais mais utilizados no setor, representados no gráfico da Figura 4.13, apresentaram 0,21% e 0,20%. Embora os cortes standard sejam os que apresentam mais impacto na sucata do setor, entende-se que isto acontece exclusivamente por estes serem os cortes mais utilizados e, portanto, decidiu-se não descartar nenhuma especificação de corte do sistema de recolha de dados.

4.2.3. Fluxo de valor do processo de corte de estirados

O corte dos estirados é um dos processos mais significativos para o desenvolvimento deste projeto. Este é o processo responsável pela produção de pontas de sucata e um dos processos que mais contribui para a dimensão das mesmas.

Decidiu-se mapear o fluxo de produção do processo de corte com o objetivo de identificar, visualizar e compreender todas as etapas e atividades envolvidas no processo, desde a entrada da barra estirada até à saída das barras finais. O processo de corte é diferente em cada uma das linhas do setor da estiragem e, por essa razão, realizou-se o mapeamento do fluxo de valor para cada uma das linhas.

De acordo com o mapa do fluxo de valor do processo de corte em CD 1 apresentado na Figura 4.14, após a entrada da barra estirada no processo, o operador posiciona-a e inicia o corte da primeira ponta de sucata. Após dar o início ao corte

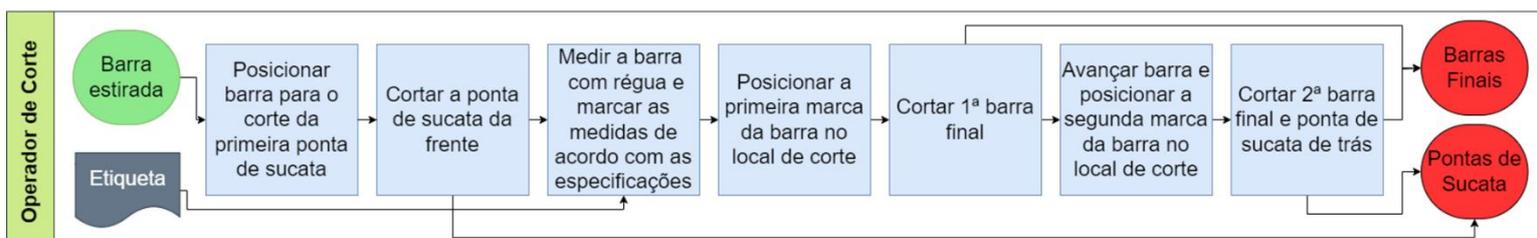


Figura 4.14 – Mapa do fluxo de valor do processo de corte de estirados em CD 1.

mencionado, o operador realiza a medição da barra, auxiliando-se por uma régua que se encontra colocada na linha. Com giz, o operador marca na barra os comprimentos de corte desejados e, em seguida, posiciona-a de acordo com as marcações para realizar os restantes cortes.

O mapa do fluxo de valor referente ao processo de corte de disco, na segunda linha de estiragem, está representado na Figura 4.15. Nesta linha de estiragem, a medição é realizada através de sensores presentes no caminho de rolos. O processo de corte por disco nesta linha é o mais automatizado, onde o corte poderia ser realizado de forma 100% autónoma se não existissem erros por parte do sistema de medição. São utilizadas duas máquinas de corte por disco, uma responsável pelo corte da ponta inicial de cada barra estirada e a outra para efetuar os restantes cortes. O posicionamento das barras para o corte é definido por um batente, no caso da primeira máquina de corte, e por um sistema de sensores interligado com o caminho de rolos que as posiciona de acordo com os comprimentos especificados, no caso da segunda máquina.

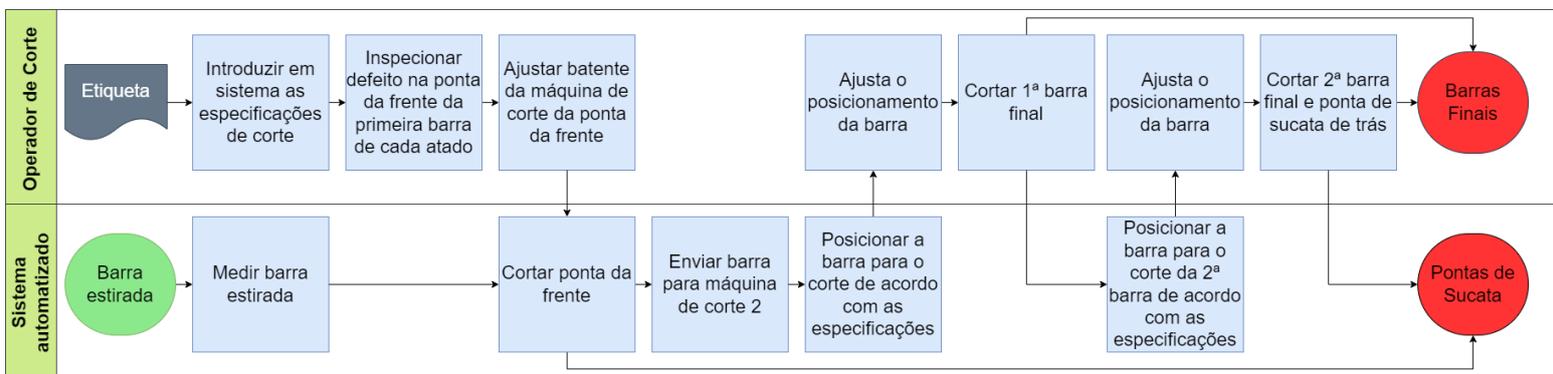


Figura 4.15 –Mapa do fluxo de valor do processo de corte de estirados em CD 2.

Na segunda linha de estiragem, existe a possibilidade de se realizar o corte através de fita, no entanto, este processo de corte é pouco utilizado no setor, visto que apresenta elevado tempo de processamento. Posto isto, o projeto em estudo não vai incidir nesse tipo de corte e, por isso, não se realizou o mapeamento do fluxo de valor do processo para esse tipo de corte.

4.2.4. Seleção e descrição do sistema de recolha de dados

O sistema de recolha de dados tem como objetivo a recolha de dados, relativos a comprimentos de pontas de sucata, que permitam caracterizar o sistema atual e identificar oportunidades de melhoria. Nesse sentido, procede-se a medição de pontas de sucata, resultantes da produção, cujas características de produto e as condicionantes do fluxo foram identificadas, na secção 4.2.2., como significativas para a contribuição de sucata no setor.

Com o objetivo de garantir uniformidade na recolha de dados, criou-se uma ficha de registo, presente no Apêndice D, definiu-se a metodologia de procedimentos de medição, abordada na próxima secção, e definiu-se ainda o material necessário, isto é, a ficha de registo mencionada, uma fita métrica (erro de medição ≈ 1 mm), uma caneta de acetato, uma esferográfica e os EPIs necessários.

Quanto à frequência de medição, esta foi inteiramente dependente do planeamento de produção de produtos com mais impacto na sucata do setor.

4.2.4.1. Metodologia do procedimento de medição

Os procedimentos de medição foram realizados de acordo com os seguintes passos:

1. Identificar o atado onde se pretende realizar a medição;
2. Marcar as pontas das barras com um número ordenado segundo a ordem de produção;
3. Marcar as pontas da frente com a letra A e marcar as pontas de trás com a letra B;
4. Realizar a medição dos comprimentos das barras finais;
5. Recolher as pontas segundo a ordem de produção;
6. Medir e registar as variáveis indicadas na ficha de registo;



Figura 4.16 – Pontas de sucata do perfil hexagonal 28,5 de qualidade EN 1.4301 e LSC 3200.

4.2.4.2. Verificação e validação dos dados

Realizaram-se algumas práticas com o objetivo de garantir que os dados recolhidos fossem representativos, e de forma a evitar erros no processo de medição.

O primeiro aspeto a ter em consideração, foi garantir que o instrumento de medição estava calibrado e que o mesmo fornecia resultados com precisão. Nesse sentido, de sete em sete dias, o instrumento foi testado através da medição de uma ponta cujo comprimento era conhecido.

Outra das práticas realizadas, foi garantir a eficácia do método de medição, ou seja, garantir que o método utilizado é o mais adequado aos dados que se pretende recolher. Um exemplo de erro que poderia surgir caso esta prática não fosse realizada, seria a medição do comprimento do defeito presente somente numa das faces, de acordo com o perfil da ponta de sucata. Este erro de medição iria provocar que os dados recolhidos não representassem necessariamente o maior comprimento de defeito presente na ponta, visto que o defeito não é uniforme ao longo de toda a superfície.

A repetição de medições para o mesmo comprimento foi umas das práticas que permitiu eliminar erros de medição associados ao ser humano, dado que o processo de medição é um processo complexo e exaustivo e pode levar a momentos de desconcentração do medidor. Nesse sentido, repetiu-se cada medição pelo menos duas vezes para garantir que o valor registado era o valor realmente medido.

Por último, duvidou-se e questionou-se todos os registos atípicos. Esta prática pretende, tal como a anterior, eliminar o erro humano do processo de medição. Nesse sentido, todos os registos considerados anormais foram confirmados para evitar erros na recolha dos dados.

4.2.4.3. Variáveis de medição

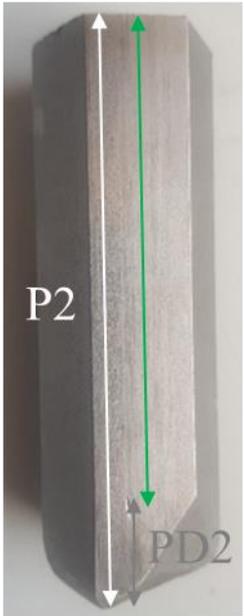
Antes de ser iniciado o processo de recolha de dados, foi fundamental identificar de forma adequada as variáveis a serem medidas. Esta etapa é crucial para o desenvolvimento de um processo de medição eficiente e confiável, proporcionando um suporte sólido para a fase de análise subsequente. A definição clara das variáveis desempenha um papel fundamental, não apenas para prevenir erros durante a recolha de dados, mas também para garantir que qualquer outro indivíduo é capaz de realizar as medições e de monitorizar os resultados de forma consistente. Nesse sentido, procede-se, na Tabela 7, a identificação e descrição das variáveis a medir no processo de recolha de dados.

Tabela 7 – Descrição das variáveis de medição para análise do comportamento de pontas.

Variável	Definição	Descrição	Ilustração
P1	Ponta da frente	A ponta da frente é o comprimento total da primeira ponta da barra a atravessar a fieira. Esta designação corresponde à distância total obtida entre a extremidade da ponta até à extremidade de corte. Esta ponta apresenta duas secções distintas ao longo do seu comprimento: PB1 e PD1.	
PB1	Parte boa da ponta da frente	A parte boa da ponta da frente diz respeito ao comprimento de P1 isento de defeito, obtido desde a extremidade de corte até à manifestação de defeito mais próxima.	
PD1	Parte defeituosa da ponta da frente	A parte defeituosa da ponta da frente diz respeito à distância entre a extremidade da ponta e a presença de defeito mais distante. É esperado que este comprimento corresponda a DF ou DE. No entanto, caso se apresente a presença de outro tipo de defeito mais distante da extremidade da ponta que os defeitos mencionados, será essa a medida recolhida.	
DF	Defeito de fresagem	O defeito de fresagem é o defeito característico do processo de fresagem ou ponteamento. Esta designação corresponde ao comprimento entre a extremidade da ponta e a presença deste tipo de defeito mais distante.	

Figura 4.17 – Exemplo de ponta da frente.

Figura 4.18 – Exemplo de ponta ponteada

<p>DE</p>	<p>Defeito “espelho”</p>	<p>O defeito “espelho” é um defeito caraterístico da estiragem, este apresenta-se como um vinco provocado pela fieira quando a extremidade da barra é extrudida até uma distância tal que permita que os mordentes do carro de estiragem agarrem a barra. Contudo, este defeito é provocado apenas em perfis não fresados e, nesse sentido, é apenas registado como DE o comprimento entre a extremidade da ponta e a presença do próprio defeito, apenas em perfis que não atravessaram o processo de fresagem. Em situações em que exista marca de mais do que um defeito “espelho”, eventualmente provocado por falha na mordida do carro de estiragem ou no empurro insuficiente da barra, é contabilizado o comprimento entre a extremidade da ponta e o defeito mais distante face à extremidade.</p>	 <p>Figura 4.19 – Exemplo de ponta com defeito "espelho".</p>
<p>P2</p>	<p>Ponta de trás</p>	<p>A ponta de trás é a ponta final da barra a atravessar a fieira. Esta designação corresponde à distância total entre a extremidade final da ponta e a extremidade de corte. Esta ponta também apresenta duas secções distintas ao longo do seu comprimento: PB2 e PD2.</p>	 <p>Figura 4.20 – Exemplo de ponta de trás.</p>
<p>PB2</p>	<p>Parte boa da ponta de trás</p>	<p>A parte boa da ponta de trás será medida de acordo com o mencionado em PB1, com a diferença de ser aplicado em P2.</p>	
<p>PD2</p>	<p>Parte defeituosa da ponta de trás</p>	<p>A parte defeituosa da ponta de trás é o comprimento da ponta entre a extremidade final da ponta e a presença de defeito mais distante. O defeito presente na ponta de trás apresenta-se de diferentes formas e provém de processos anteriores ao setor da estiragem.</p>	

B1	Barra 1	Esta designação corresponde ao comprimento da primeira barra final, cortada a partir de uma barra estirada, que origina duas barras finais ou então corresponde ao comprimento da barra final cortada a partir de uma barra estirada que origina uma única barra final.	 <p>Figura 4.21 – Exemplo de barra final</p>
B2	Barra 2	Esta designação corresponde ao comprimento da segunda barra final, cortada a partir de uma barra estirada, que origina duas barras finais.	

Além da identificação das variáveis a serem medidas, é também fundamental considerar as variáveis que resultam das medições, isto é, que não se medem diretamente, e que desempenham um papel fulcral na fase de análise e compreensão do comportamento das pontas de sucata. Nesse contexto, surgem três variáveis de extrema relevância, as quais conduzirão todo o processo de análise deste tipo de desperdício. Essas variáveis são a ponta defeituosa (PD), a margem de otimização do corte (MOC) e a margem de otimização do planeamento e processos anteriores à estiragem (MOP), as quais serão abordadas na secção 4.2.5.1. Na Tabela 8 é possível consultar a identificação e a expressão utilizada para calcular cada uma dessas variáveis.

Tabela 8 – Descrição das variáveis resultantes do processo de medição.

Sigla	Variável	Expressão
PT	Ponta de sucata	$P_{Total} = P_1 + P_2$
PB	Ponta boa total	$PB_{Total} = PB_1 + PB_2$
PD	Ponta defeituosa total	$PD_{Total} = PD_1 + PD_2$
BT	Barra total	$B_{Total} = B_1 + B_2$
$\Delta C_{m\acute{a}x}$	Diferença entre a medida de corte real e o LSC	$\Delta C_{m\acute{a}x} = n \times LSC - B_{Total}$
MOC	Margem de otimização do corte	$MOC = M\acute{i}n(PB_{Total}; \Delta C_{m\acute{a}x})$
MOP	Margem de otimização do Planeamento	$MOP = PB_{Total} - MOC$

4.2.4.4. Tratamento de dados

Como já referido, a análise e interpretação dos dados recolhidos desempenham um papel crucial no contexto do presente estudo. Para essa finalidade, foram utilizadas duas ferramentas amplamente reconhecidas: o Microsoft Office Excel e o software R. O Microsoft Office Excel é uma ferramenta poderosa amplamente utilizada para análise e manipulação de dados, a qual fornece recursos para cálculos estatísticos, criação de gráficos e visualização dos resultados. Por sua vez, o software R é uma linguagem de programação estatística que oferece uma ampla gama de pacotes e funções especializadas para análise e manipulação de dados, permitindo a execução de análises estatísticas mais avançadas.

Com a utilização destas ferramentas, procurou-se extrair informações valiosas dos dados recolhidos com o objetivo de identificar as principais causas para os comprimentos de ponta observados e como forma de direcionar o projeto para ações de melhoria eficientes para os mitigar.

4.2.5. Resultados da medição

4.2.5.1. Conceitos

Antes de se proceder à interpretação dos resultados, é imprescindível abordar os conceitos definidos para a caracterização das pontas de sucata.

Conforme representado no esquema da Figura 4.22, uma barra estirada origina uma ponta de sucata total (PT), a qual é composta por P1 e P2, de acordo com a secção 4.2.4.3. No entanto, PD, MOC e MOP são as três diferentes classes de uma ponta de sucata indicadas para a caracterizar e serão estas o suporte para toda a análise e interpretação do comportamento das pontas de sucata.

O PD, ou defeito na ponta, refere-se a qualquer comprimento de ponta que apresente a presença de defeito. Neste caso, é relevante distinguir esta classe em PD1 e PD2, uma vez que possuem defeitos distintos e são provenientes de processos diferentes.

O MOC representa a margem de otimização no corte, ou seja, diz respeito ao comprimento de ponta isento de defeito, que deriva de uma má otimização do comprimento das barras finais, no processo de corte no setor da estiragem. Esta classe diz respeito ao comprimento de ponta que poderia efetivamente ser enviado para o cliente e é calculado com base nas expressões descritas na secção 4.2.4.3.

O MOP corresponde à margem de otimização do planeamento e de todos os processos anteriores à estiragem. Em outras palavras, trata-se também do comprimento de ponta isento de defeito, mas desta vez resultante do excesso de comprimento da barra estirada, de acordo com o LSC. Essa extensão da extremidade é inevitável dentro do setor de estiragem e não pode ser enviada para o cliente.

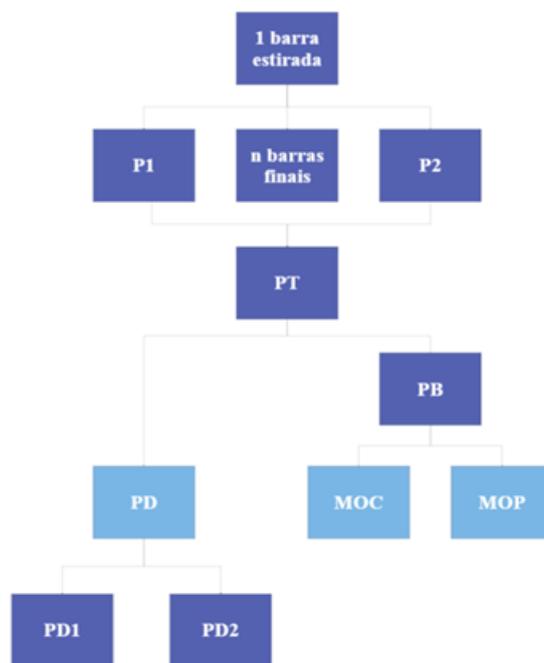


Figura 4.22 – Esquema representativa das classes de uma ponta de sucata.

4.2.5.2. Resultados

O gráfico da Figura 4.23 apresenta uma representação visual clara e concisa dos resultados obtidos através do sistema de recolha de dados. Cada barra do gráfico representa a média do comprimento de ponta obtido para o respetivo produto, o qual é composto pelos comprimentos das três classes definidas na secção anterior.

Os maiores comprimentos de ponta verificaram-se nos perfis retangulares 40,8 x 8,7 e 41 x 11, ambos com LSC 3200 mm. A média dos comprimentos das pontas recolhidas para esses dois perfis foi superior a 500 mm, em ambos os casos, onde mais de 60% desses comprimentos resultaram da variabilidade dos processos anteriores à estiragem ou de uma má otimização da quantidade de matéria-prima necessária por parte do planeamento. Os resultados demonstraram também que os menores comprimentos de ponta se verificaram em pontas sem a presença de MOP, ou então com uma presença muito reduzida dessa classe.

Nesse sentido, destaca-se o perfil quadrado 39,75 com LSC 3963 mm que apresentou, em média, 168 mm de comprimento de ponta, onde 83% da ponta diz respeito ao comprimento com defeito e apenas 17% ao comprimento de MOC. Este perfil é um bom exemplo do desempenho pretendido ao nível da otimização da quantidade de matéria-prima, visto que, embora não tenha sido possível enviar para os clientes barras com comprimentos de acordo com o LSC, a produção deste perfil não apresentou a produção de barras curtas e, além disso, registou uma média de 3,09% de pontas de sucata.

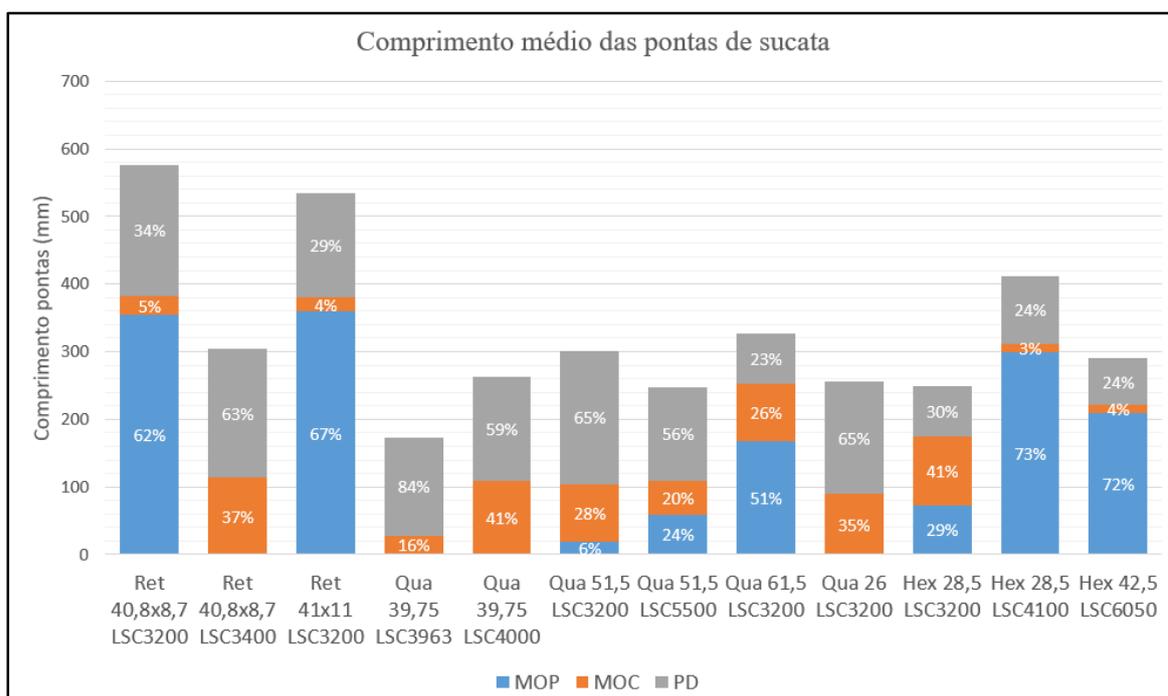


Figura 4.23 – Demonstração dos resultados obtidos durante a fase de medição.

Do ponto de vista geral, a variável MOP é a que tem mais influência no comprimento de ponta e, através da observação da Figura 4.23, entendeu-se que esta é a classe de ponta que apresenta maior variabilidade visto que em alguns perfis representa mais de metade do comprimento de ponta e, em outros, nem se quer está representada. Quanto ao MOC, este apresenta alguma variação, no entanto esta variável depende apenas do procedimento realizado no corte e não do tipo de perfil a produzir. O PD é a segunda classe de ponta com mais influência no comprimento da mesma. Este comprimento também apresenta alguma variabilidade e vai ser, tal como as outras duas classes, alvo de análise na próxima fase.

4.2.6. Nível Sigma

O nível sigma é uma medida de desempenho que permite indicar a capacidade de um processo em produzir produtos ou serviços dentro dos limites especificados e com qualidade consistente. Tendo em conta que este parâmetro permite avaliar e quantificar a variabilidade de processos, procedeu-se ao cálculo do nível sigma com o objetivo de avaliar a variabilidade da quantidade do desperdício pontas de sucata. Este indicador é fundamental para monitorizar um dos objetivos definidos no presente projeto.

Para o cálculo do nível sigma foi necessário, primeiramente, calcular os defeitos por milhão de oportunidades (DPMO). Este parâmetro foi calculado através dos dados recolhidos para a análise do histórico. O cálculo foi efetuado de acordo com a seguinte expressão:

$$DPMO = 1000000 * \frac{N^{\circ} \text{ de atados com } \% \text{ Pontas de sucata} > 3,99\%}{N^{\circ} \text{ de atados total}}$$

Equação 4.3

Considerou-se como defeitos todos os atados que apresentaram uma percentagem de pontas de sucata superior ao objetivo definido para este projeto. Entendeu-se que este método de cálculo do DPMO é o mais indicado para contabilizar a variabilidade das pontas de sucata no setor, tendo em consideração a informação recolhida.

A partir da equação 4.3, concluiu-se que o processo apresenta 441 434 DPMO e, através de uma interpolação linear, realizada através dos valores presentes na Tabela 9, calculou-se o nível sigma correspondente. Determinou-se o nível sigma do processo de 1,65, um nível bastante reduzido que demonstra que o processo de produção de sucata no setor apresenta elevada taxa de ocorrências de valores acima do desejado, indicando que o processo apresenta elevada variabilidade e reduzida previsibilidade.

Tabela 9 – Tabela do nível sigma.

DPMO	NIVEL SIGMA
691 462	1
308 538	2
66 807	3
6 210	4
233	5
3,4	6

4.3. Fase III - Analisar

A presente secção tem como finalidade a análise dos dados obtidos na fase anterior. A estrutura da análise realizada está de acordo com o plano traçado inicialmente. Nesse sentido, em primeiro lugar vai ser apresentada a análise estatística das distribuições obtidas e, posteriormente, serão utilizadas as ferramentas diagrama causa-efeito e 5 porquês, com o objetivo de identificar as causas responsáveis pela dimensão das pontas de sucata no setor.

4.3.1. Inferência estatística dos dados obtidos

4.3.1.1. Defeito na ponta (PD)

A análise do comprimento do defeito nas pontas tem como objetivo, além de identificar as principais tendências dos comprimentos de defeito, identificar os processos que os originam, identificar a variabilidade desses processos e a margem de otimização.

A análise do comprimento com defeito na ponta permitiu identificar, através de testes estatísticos, que a média populacional desta variável está compreendida entre 156 e 159,7 mm, onde a amplitude dos dados recolhidos se situa entre 127 e 257 mm. Conforme mencionado, o comprimento PD corresponde à soma de PD1 e PD2, que são, respetivamente, os comprimentos de defeito da ponta da frente e de trás. Contudo, essas duas variáveis são diferenciadas e apresentam dependência de processos diferentes, pelo que devem ser analisadas de forma individual. Sob esse prisma, procede-se a análise do comprimento de defeito para cada uma das extremidades da barra estirada.

PD1

Dependentemente do perfil dimensão, o defeito presente na ponta da frente pode apresentar-se de duas formas diferentes: defeito provocado pela fieira no processo de estiragem ou defeito provocado pelos processos de fresagem, abordados na secção 3.5.. Cada ponta de sucata apresenta apenas um dos dois defeitos caraterísticos, isto porque nos perfis que passam pelos processos de fresagem, não existe a necessidade de utilização do empurrador e, dessa forma, o esforço exercido sobre as pontas é menor, o que evita a marcação defeituosa nas pontas. Contudo, é necessário entender que o comprimento a fresar é estabelecido de acordo com o comprimento da ponta que se pretende empurrar para fora da fieira, neste caso, manualmente empurrado pelo operador e não pelo empurrador.

Entende-se, assim, que o comprimento fresado varia de acordo com o suposto comprimento que se verificaria caso fosse provocado o defeito “espelho”. No entanto, dada a diferenciação, decidiu-se analisar individualmente cada um dos dois tipos de defeitos evidenciados na ponta da frente.

PD1 - Defeito provocado pela estiragem

A amostra recolhida evidencia que o comprimento de ponta com este tipo de defeito se encontra compreendido entre 129 e 178 mm. A Figura 4.24 sugere a possibilidade da distribuição seguir uma distribuição normal, uma vez que os dados aparentam tender para a média da amostra de 149 mm. No entanto, a partir do teste de Shapiro-Wilk conclui-se que não existe evidência estatística de que a distribuição obtida segue o comportamento de uma distribuição normal. Além disso, o intervalo de comprimentos mais frequente está localizado à esquerda da distribuição, demonstrando indícios de que a distribuição é aleatória e não segue nenhum padrão. A partir de alguns testes estatísticos realizados foi permitido concluir com 95% de confiança que a média populacional dessa variável se encontra entre 146 e 150 mm.

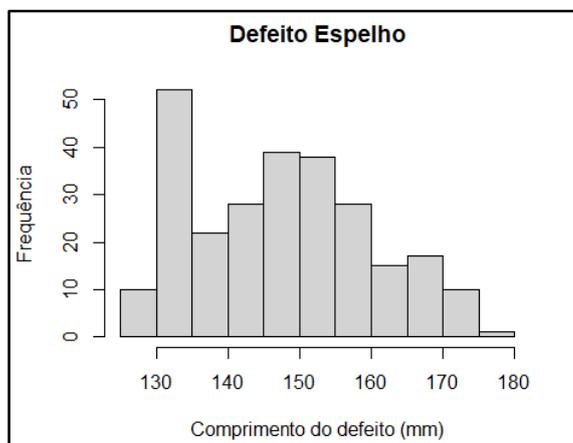


Figura 4.24 – Análise do comprimento do defeito "espelho".

Através de entrevistas não-estruturadas, investigou-se a razão pela qual a distribuição obtida apresenta mais do que um pico de frequência. A partir da investigação, concluiu-se que o comprimento do defeito analisado está dependente das medidas de empurro utilizadas no processo de estiragem. Estas ações não seguem um padrão estabelecido e estão sujeitas à tomada de decisão do operador responsável pelo processo. Além disso, a medida de empurro a utilizar também é influenciada pelo tipo de mordentes utilizados no carro da estiragem e pelo tipo de mordentes utilizados no empurrador.

Desta forma, conclui-se que a aleatoriedade dos dados recolhidos provém das tomadas de decisão dos operadores do processo de estiragem em relação à medida de empurro, a qual se observou que varia mesmo em produções de produtos com as mesmas características.

PD1 - Defeito provocado pela fresagem

A amostra recolhida para este tipo de defeito não pode ser analisada como pertencente a uma só população, visto que cada atado em produção apresenta, na etiqueta, uma especificação de comprimento de fresagem característica, de acordo com a Figura 4.25, que varia consoante o tipo de perfil e a sua dimensão. A designação FC120, presente na etiqueta da Figura 4.25, indica que a fresagem no perfil retangular 41 x 11 tem de ser realizado numa face e num cutelo, ao longo de 120 mm de comprimento.

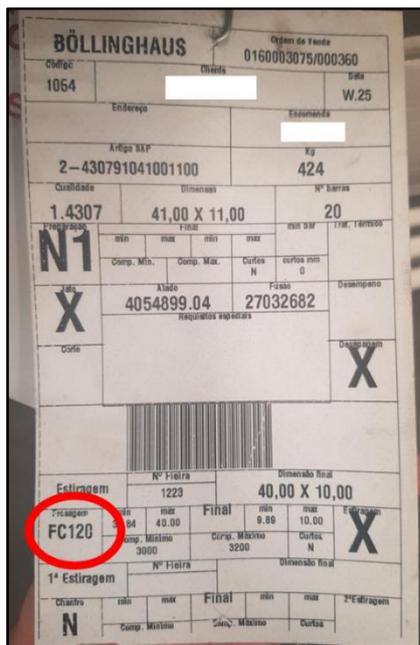


Figura 4.25 – Exemplo de etiqueta utilizado nos atados de estirados em fabrico.

Nesse sentido, analisou-se individualmente o comprimento de fresagem de cada perfil dimensão recolhido na amostra cujo processo mencionado faz parte do fluxo produtivo. A análise realizada evidenciou que as especificações não estão a ser cumpridas pelos operadores. Um exemplo do que foi mencionado é a distribuição obtida para a análise do comprimento fresado do perfil dimensão representado na etiqueta da Figura 4.25.

A especificação de fresagem do perfil retangular 41 x 11 indica que deve ser fresado 120 mm de comprimento de ponta e, a partir da distribuição obtida, apresentada na

Figura 4.26, concluiu-se que todos os valores da amostra estão acima desse valor. A tendência do comprimento do defeito é 30 mm acima do valor especificado, evidenciado pelo resultado do teste de Shapiro-Wilk, o qual não descartou a hipótese da distribuição obtida seguir a normalidade. Embora o resultado obtido tenha apresentado uma tendência para a média de 150 mm, os dados recolhidos apresentaram dispersão considerável, conforme é evidenciado pela amplitude da amostra, visto que o menor valor observado foi 125 mm e o maior 180 mm.

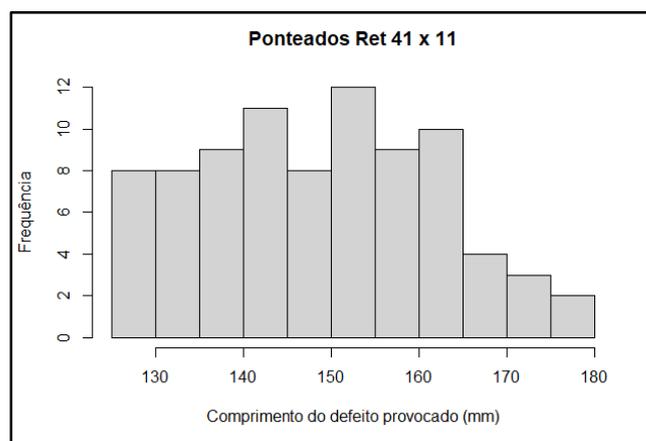


Figura 4.26 – Análise do comprimento fresado no perfil retangular 41 x 11.

Através de entrevistas não-estruturadas realizadas com operadores do setor da fresagem, procurou-se identificar a razão para as especificações dos comprimentos não estarem a ser cumpridas. As conclusões retiradas apontam para o facto de os comprimentos de fresagem especificados nas etiquetas de alguns perfis dimensão não serem os mais adequados para o processo de estiragem, dificultando a sua boa execução. Apesar da justificação plausível, entende-se que os incumprimentos deveriam ter sido reportados previamente aos órgãos superiores do setor, de modo a serem tomadas medidas de correção, levando à alteração de algumas especificações e à prevenção de que a informação chegasse a todos os operadores do setor de fresagem. A partir da abordagem efetuada, a análise permitiu identificar um problema interno relacionado com a troca de informação dentro da organização.

PD2

Os defeitos verificados na ponta de trás têm origem em processos precedentes ao setor da estiragem e apresentam-se de diversas formas e com comprimentos diferentes.

A distribuição de PD2, representada na Figura 4.27, evidenciou que os dados recolhidos para análise deste defeito seguem uma distribuição bimodal, ou seja, uma distribuição composta por duas regiões de alta frequência de valores, apontando para a possibilidade de terem sido recolhidas amostras de duas populações estatísticas diferentes. Nesse sentido, entendeu-se pertinente separar os dados e analisar individualmente cada uma das distribuições.

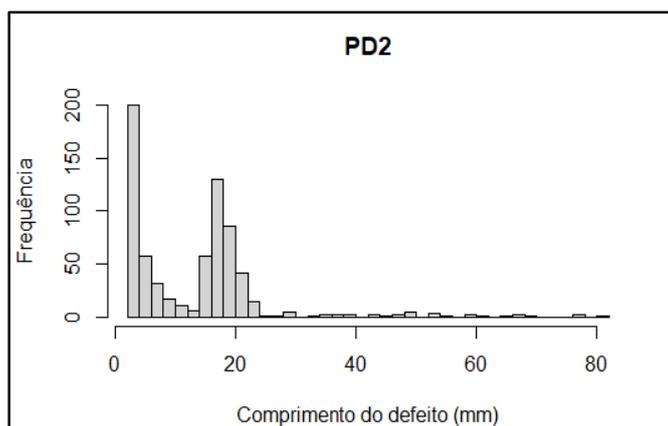


Figura 4.27 – Análise do comprimento do defeito na ponta de trás.

A “dist 1”, representada na Figura 4.28, diz respeito ao conjunto de dados localizados mais à esquerda e compreende os dados relativos a comprimentos de defeito entre 2 e 13 mm.

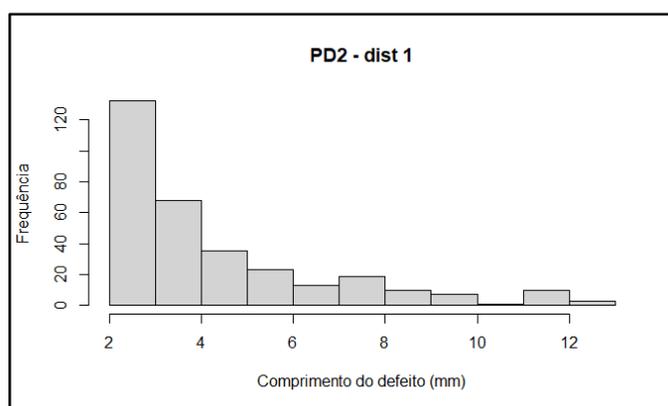


Figura 4.28 – Análise do comprimento do defeito de “dist 1”.

Conforme demonstrado na figura, a distribuição aparenta ter a forma de uma distribuição exponencial, ou seja, apresenta uma forma assimétrica onde os valores mais frequentes se encontram à esquerda, nomeadamente entre o intervalo de 2 a 4 mm, e a probabilidade de ocorrência diminui progressivamente quando se verificam maiores

comprimentos de defeito. A população dos comprimentos de defeito com as características da “dist1” apresenta uma média pertencente ao intervalo entre 4,5 e 5,1 mm, com uma confiança de 95%.

A “dist 2”, representada na Figura 4.29, foi obtida a partir do conjunto de dados de comprimentos de defeito compreendidos entre 14 e 24 mm. A hipótese de esta distribuição seguir a normalidade foi rejeitada através de testes estatísticos. Para um nível de confiança de 95%, a média populacional está situada entre 18,2 e 18,7 mm.

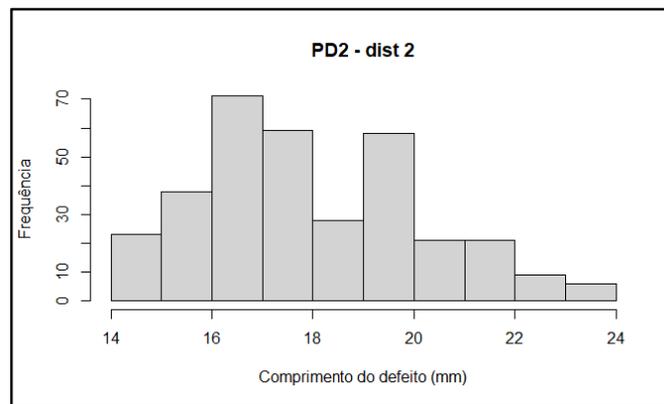


Figura 4.29 – Análise do comprimento do defeito de “dist 2”.

Procurou-se investigar a razão de existirem duas distribuições diferentes e, embora se entenda que o defeito observado resulte de processos anteriores à estiragem, procedeu-se inicialmente a uma análise exploratória da qual se concluiu que os atributos dos produtos produzidos não têm qualquer influência nos processos que dão origem a PD2.

Decidiu-se dar continuidade à investigação através de entrevistas não-estruturadas, de forma a clarificar o motivo de ocorrência de diferentes defeitos na ponta de trás, visto que estes não estão planeados nem dependentes de nenhum dos atributos especificados. A partir da entrevista não-estruturada realizada, nomeadamente, ao gestor de operações de laminagem, entendeu-se que estas duas distribuições estão relacionadas com os cortes efetuados no setor da laminagem.

Após o processo de laminagem, a barra laminada dá origem a mais do que uma barra para estirar. Os tipos de cortes utilizados para segmentar as barras laminadas são os cortes por disco abrasivo ou por fita de corte, dois tipos de corte diferenciados do corte das “traças”, utilizado durante o percurso do processo de laminagem para remover as pontas defeituosas. Essas “traças” deixam uma marca evidente na extremidade das barras (Figura 4.30), a qual é considerada defeito, enquanto o corte por disco ou fita não deixa nenhuma

marca que se alongue no comprimento da barra. No entanto, posteriormente, no setor da reparação de defeitos, as barras atravessam um processo de reparação da rebarba dos topos, que deixa evidente uma pequena marcação ao longo de todas as arestas da secção transversal de cada extremidade da barra, conforme se pode observar na Figura 4.31. Esse processo é realizado em todas as barras que seguem para a estiragem, no entanto, dado as marcações evidenciadas pelo corte das “traças” na laminagem, a marca provocada pelo setor de reparação não se apresenta como a mais longa em pontas com essas características. Além destes dois tipos de defeitos, diferenciados, essencialmente, pelo corte utilizado na laminagem, existe ainda a possibilidade de algumas pontas não serem cortadas na laminagem e darem entrada no setor da estiragem com o defeito típico das pontas laminadas.

Posto isto, concluiu-se que os dados presentes na “dist 1” são provenientes de pontas que resultaram da segmentação de uma barra laminada em várias barras para estirar. Quanto aos dados da “dist 2”, estes dizem respeito aos defeitos das pontas que resultaram do corte efetuado pelas “traças” e os *outliers*, presentes na distribuição da Figura 4.27, dizem respeito aos comprimentos de pontas laminadas que não foram cortadas, apresentando, naturalmente, maior variabilidade.



Figura 4.31 – Exemplo do defeito verificado na “dist 1” e *outliers*.



Figura 4.30 – Exemplo do defeito verificado na “dist 2”.

4.3.1.2. MOC

O MOC é o comprimento de ponta sem a presença de defeito que deriva exclusivamente da falta de otimização do comprimento das barras finais, processadas no processo de corte no setor da estiragem, abordado na secção 4.2.3. Nesse sentido, a análise de MOC tem como objetivo identificar a variabilidade e a ineficiência que existe no processo de corte e, dessa forma, identificar a margem que existe para otimização.

A amostra recolhida para esta classe apresentou resultados compreendidos entre 0 e 220 mm, cuja média da amostra evidenciou que foram enviados para cliente menos 42 mm de comprimento, por barra estirada, do que o que poderia ser. Tendo em conta que o preço de venda é realizado consoante o peso do produto final, é de extrema importância garantir que as barras enviadas para o cliente prossigam com o máximo de material possível, dentro das especificações definidas. Nesse seguimento, perder 42 mm de comprimento por barra estirada traduz-se em perdas desnecessárias para a organização.

Contudo, é justo que a variável MOC seja analisada especificamente para o processo de corte por disco utilizado em cada uma das linhas de estiragem, visto que o método de medição, o método de corte e os operadores são diferentes. Desse modo, procedeu-se a análise individual do MOC para a CD 1 e para a CD 2.

MOC - CD 1

O MOC registado na CD 1 é dependente do processo de corte realizado nesta linha, que decorre de acordo com a descrição realizada na secção 4.2.3. Este processo é o mais rudimentar do setor e apresenta grande dependência do fator humano. No processo abordado, é comum realizar-se em simultâneo o corte de mais do que uma barra de cada vez, de modo a otimizar a produtividade, no entanto, origina mais um fator que contribui para a variabilidade do comprimento de ponta.

A distribuição obtida para a classe MOC das pontas que resultaram do processo de corte na CD 1 está representada na Figura 4.32.

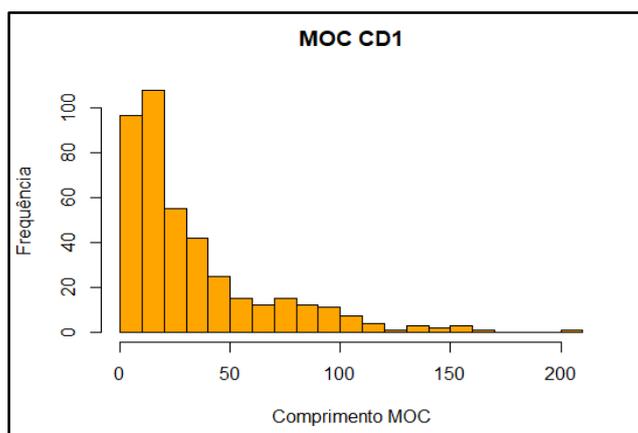


Figura 4.32 – Análise do comprimento de MOC na CD 1.

A distribuição sugere que os dados da amostra possam seguir uma distribuição exponencial, a qual não foi comprovada através dos testes estatísticos efetuados. No entanto,

é compreendido que existe preocupação por parte do operador de corte em minimizar o desperdício, evidenciado pela maior tendência dos valores localizados à esquerda na distribuição. Embora seja notável que na maior parte das vezes os operadores tenham o cuidado mencionado, é também evidente que a distribuição apresenta elevada variabilidade, demonstrada pela amplitude dos dados, onde se pode observar a ocorrência de muitos valores de MOC acima de 50 mm. O coeficiente de variação da amostra aponta para uma variação de 100%, o que sugere que os dados estão amplamente espalhados em relação à média. Estima-se, com um grau de confiança de 95%, que a população do MOC produzido na CD 1 tem uma média compreendida entre 30 e 36 mm, onde a média da amostra observada foi de 33 mm.

MOC - CD 2

O MOC registado na CD2 é também dependente do processo de corte de disco realizado nessa linha de estiragem. Esse processo é mais automatizado que o processo de corte em CD 1 e procede-se de acordo com a descrição realizada na secção 4.2.3. Na Figura 4.33 apresenta-se a distribuição obtida para esta variável.

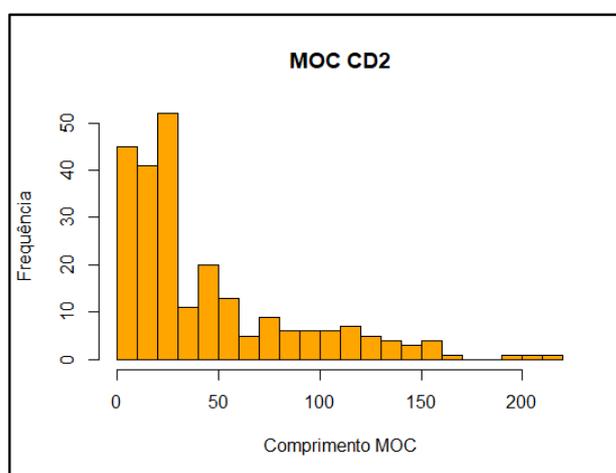


Figura 4.33 – Análise do comprimento de MOC na CD 2.

As conclusões retiradas a partir da análise da distribuição de MOC na CD 2 estão de acordo com as conclusões retiradas na análise da distribuição obtida para a CD 1. Nesse sentido, observa-se novamente uma tendência para valores localizados à esquerda do gráfico

e volta-se a observar elevada variabilidade. Neste caso, o coeficiente de variação da amostra é de 98%, onde a média observada é de 45 mm. Quanto à média populacional, estima-se com um grau de confiança de 95% que esta está compreendida entre 41 e 53 mm.

4.3.1.3. MOP

O MOP é o comprimento de ponta sem a presença de defeito que deriva do excesso de comprimento da barra estirada que dá entrada no processo de corte. De acordo com os resultados obtidos na secção 4.2.5.2., esta é a classe de ponta que mais impacto tem na variabilidade do comprimento total das pontas de sucata. No entanto, a origem deste comprimento provém do planeamento da quantidade de matéria-prima e dos processos que precedem ao setor da estiragem, os quais se localizam fora das fronteiras delimitadas para este projeto. Todavia, realizou-se a análise desta variável com o objetivo de fornecer à empresa indicadores que evidenciem a necessidade de implementar ações de melhoria de forma a minimizar a presença desta classe de ponta.

Tendo em conta que o planeamento do consumo de matéria-prima é dependente das características do artigo a produzir, onde estas podem diferir no tipo de perfil, dimensão ou comprimento final, entendeu-se que não seria apropriado analisar os dados recolhidos para esta classe como pertencentes a uma só população e, por esse motivo, analisou-se individualmente o MOP em dois artigos com elevado impacto na sucata do setor.

MOP - Perfil hexagonal 28,5 com LSC 4100

Embora a distribuição obtida a partir dos dados de MOP recolhidos para o perfil hexagonal 28,5 com LSC 4100 mm, representada na Figura 4.34, não apresente evidência estatística de que os dados possam seguir uma distribuição normal, é possível evidenciar que os valores recolhidos apresentam uma tendência para se concentrarem entre 180 e 320 mm, onde a média da amostra obtida é de 297 mm e o coeficiente de variação observado é de 39%. O menor valor de MOP recolhido para este artigo foi de 163 mm, um comprimento bastante elevado, tendo em conta que na situação ideal, o comprimento MOP nem deveria estar evidenciado na ponta de sucata. Nesse sentido, entende-se que existe margem para se otimizar o planeamento do consumo de matéria-prima deste artigo específico, tendo em conta o desvio dos dados em relação ao valor zero.

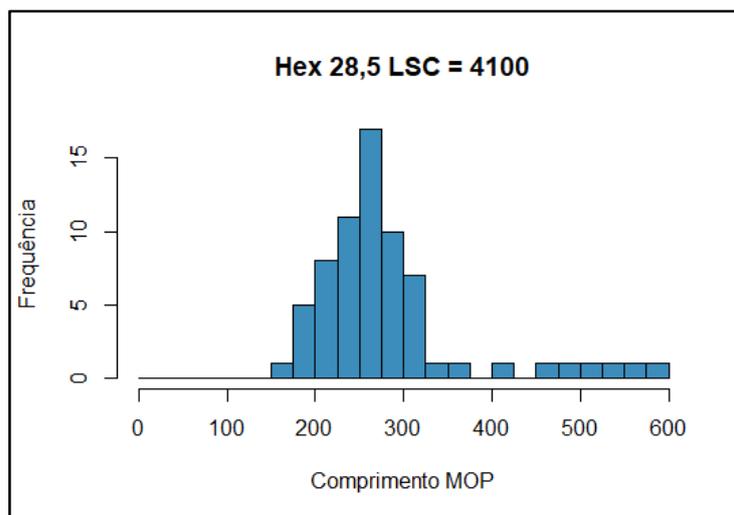


Figura 4.34 – Análise do comprimento MOP no perfil hexagonal 28,5 com LSC 4100 mm.

MOP - Perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200

A distribuição obtida a partir dos dados do MOP recolhidos para o perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200 mm, representada na Figura 4.35, demonstra que, tal como no caso anterior, os valores de MOP tendem para um intervalo de comprimento elevado. Embora volte a não existir evidência estatística de que os dados seguem uma distribuição normal, resultado da variabilidade que existe em todos os processos do fluxo de produção, continua também a ser evidente que existe margem para otimizar o consumo de matéria-prima deste artigo em específico.

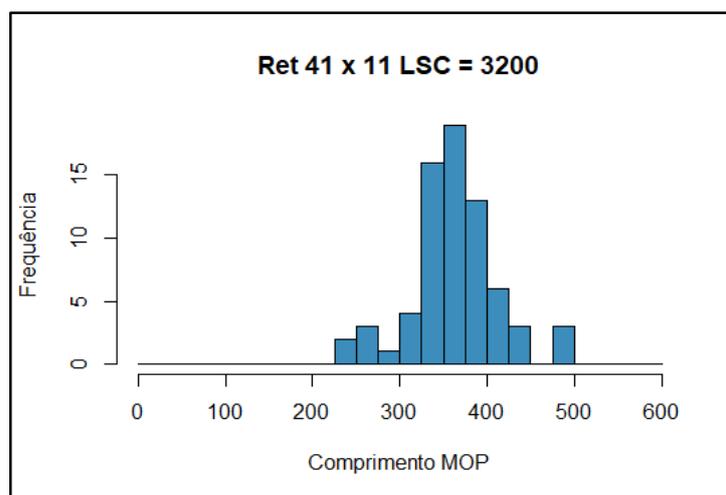


Figura 4.35 – Análise do comprimento MOP no perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200 mm.

Neste caso, a média observada foi de 365 mm, onde a tendência de valores se concentra entre 325 e 400 mm e o coeficiente de variação é de 14%. O coeficiente de variação reduzido indica que a variabilidade dos processos anteriores ao setor da estiragem não é tão evidenciada neste tipo de produto e, nesse sentido, entende-se que a grande melhoria para reduzir o MOP deste perfil específico será através da otimização do planeamento do consumo de matéria-prima.

4.3.2. Fontes de variabilidade do comprimento da ponta de sucata

Procurou-se recolher informação sobre as causas que influenciam, direta ou indiretamente, a variabilidade do comprimento de ponta de sucata. Nesse sentido, recorreu-se aos operadores e a outros trabalhadores da empresa, através de entrevistas não-estruturadas, para indicarem o que, nas suas opiniões, poderia estar a influenciar esta variável. Além da recolha de informação mencionada, utilizou-se também o conhecimento adquirido ao longo de todo o período de desenvolvimento do projeto para elaborar o diagrama de causa-efeito, presente na Figura 4.36.

O diagrama demonstra que são muitas as causas intervenientes que influenciam a variabilidade registada no comprimento de ponta. É recomendado que se efetue uma avaliação de todas as causas mencionadas, de modo a quantificar a entrada da variabilidade de cada uma. Após a avaliação, a utilização do diagrama de *Pareto* seria uma ótima ferramenta para ajudar a priorizar as causas que se evidenciam com mais impacto na variabilidade da ponta de sucata. No entanto, o facto de este projeto estar delimitado somente aos processos de dois setores específicos, o setor da estiragem e o setor de apoio à estiragem, a realização dessa análise não foi possível.

Em alternativa à priorização, decidiu-se recorrer à ferramenta “5 Porquês” para identificar as causas raiz e os respetivos sistemas de causas, abordados no diagrama de causa-efeito, do problema verificado com a variabilidade e produção de cada classe da ponta de sucata, cuja origem se reconhece pertencer ao setor de estiragem ou ao setor de apoio à estiragem.

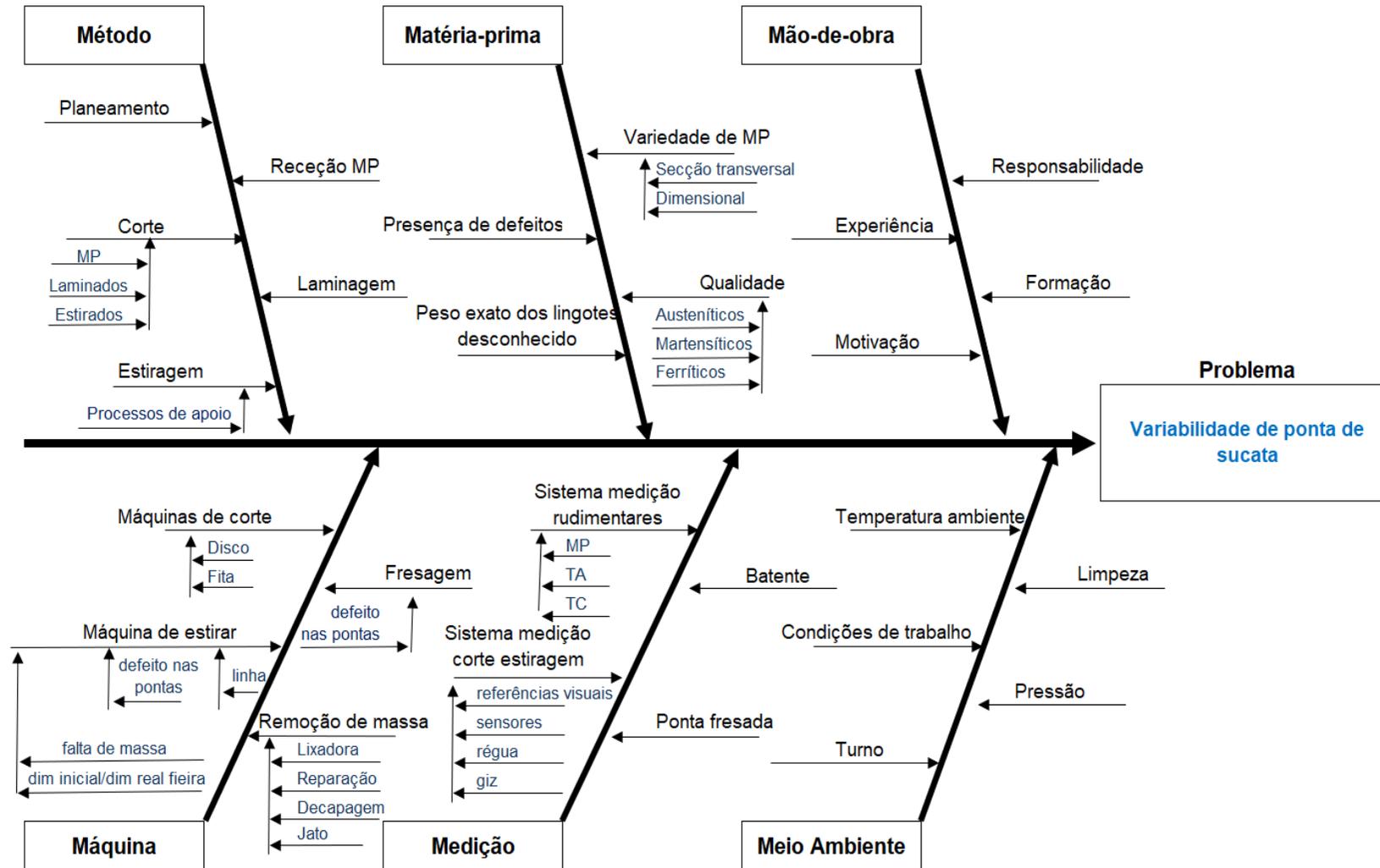


Figura 4.36 – Diagrama de causa-efeito para a variabilidade da ponta de sucata.

4.3.3. Identificação das causas raiz

A partir da análise realizada na secção 4.3.1, verificou-se que os processos que dão origem às classes PD2 e MOP não pertencem aos setores em estudo. Nesse sentido, a ferramenta “5 Porquês” apenas foi utilizada para identificar as causas raiz dos problemas verificados com a variabilidade e produção das classes PD1 e MOC.

Na Tabela 10 estão descritos os principais resultados obtidos da análise realizada a partir da ferramenta “5 Porquês”, cuja análise estruturada de acordo com a metodologia da ferramenta utilizada se encontra disponível no Apêndice H.

Tabela 10 – Identificação da causa raiz do problema verificado com a variabilidade e produção de cada classe de ponta.

Classe de ponta	Sistema de causas	Causa raiz
PD1 – perfis não fresado	Método do processo de estiragem.	<ul style="list-style-type: none"> • Não existe especificação para a medida de empurro.
PD1 – perfis fresados	Método dos processos de apoio à estiragem.	<ul style="list-style-type: none"> • Não existe standardização do comprimento de ponta empurrado manualmente pelo operador de estiragem; • Falta de standardização nos procedimentos em perfis especiais.
MOC – perfis produzidos em CD 1	Método de corte dos estirados;	<ul style="list-style-type: none"> • Medição e posicionamento é realizado pelo operador.
MOC – perfis produzidos em CD 2	Sistema de medição no corte dos estirados.	<ul style="list-style-type: none"> • Medição por <i>encoders</i> não é adequada; • As barras não travam imediatamente o movimento quando os rolos abrandam.

4.3.3.1. Método do processo de estiragem

O método do processo de estiragem está diretamente relacionado com o comprimento e com a variabilidade do comprimento de PD1 em perfis não fresados, cuja causa raiz identificada aponta para a falta de standardização da medida de empurro utilizada no subprocesso inicial responsável pela extrusão da ponta da barra a estirar (Figura 4.37).



Figura 4.37 – Ponta “empurrada” ou extrudida no processo de estiragem.

O método utilizado dispõe ao operador a liberdade para ajustar alguns parâmetros do processo, nomeadamente a medida de empurro, o tipo de mordentes do carro e o tipo de mordentes do empurrador, visto serem parâmetros que não têm impacto direto no produto final. Contudo, estes parâmetros têm impacto direto no comprimento do defeito provocado na ponta da frente de cada barra estirada.

Embora exista pouca variação nos mordentes utilizados, tanto no carro da estiragem como no empurrador, entende-se que o parâmetro que diz respeito à medida de empurro apresenta elevada variação, explicada pela elevada flexibilidade das dimensões estiradas. Contudo, para o mesmo tipo de produto final estão a ser praticados valores diferentes na medida de empurro, isto porque não existe qualquer valor especificado para o processo e a medida está a ser definida de acordo com a experiência de cada operador apenas com o objetivo de garantir a boa execução do processo de estiragem.

Antes de se identificar a causa raiz, realizou-se um período experimental junto do processo de estiragem na CD 2, com o objetivo de investigar a relação entre a medida de empurro executada e o comprimento do defeito provocado. Através de uma sequência definida de alterações na medida de empurro e respetiva medição do defeito “espelho” das pontas resultantes, retirou-se informação suficiente para concluir que existe relação direta entre as variáveis, conforme indica os resultados demonstrados na Tabela 11 e no gráfico da

Figura 4.38, e que essa relação pode ser expressa através da equação 4.4., isto se for sempre garantido o posicionamento inicial (extremidade da ponta em contacto com a feira).

Tabela 11 – Resultados retirados da experiência realizada.

ME	170	175	180	185	190
DE (mm)	199	193	183	175	166
	198	194	184	175	168
	198	195	182	176	167
	202	191	183	175	167

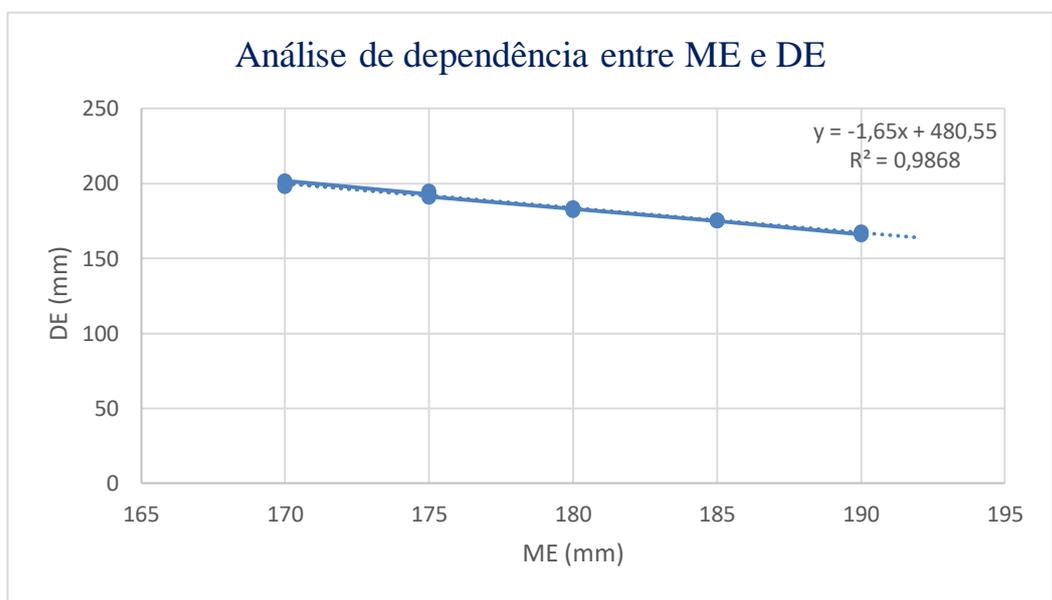


Figura 4.38 – Análise da dependência entre ME e DE.

$$DE (mm) = 480,57 - 1,65 * Empurro (mm) \pm erro$$

Equação 4.4

Posto isto, identificou-se a causa raiz para o problema identificado através da variabilidade observada no comprimento do defeito provocado pela feira na segunda linha de estiragem, a qual está diretamente relacionada com as medidas variáveis de empurro aplicadas durante o processo de estiragem.

Atualmente, essas medidas de empurro são determinadas com base na eficiência do processo de estiragem, em que o operador as regula de acordo com a capacidade que o mordente do carro de estiragem tem para segurar e aplicar a força na barra de modo a realizar o processo de estiragem. Nesta lógica, não há indícios de que as medidas aplicadas estejam

otimizadas para minimizar o comprimento do defeito, uma vez que essa dependência nem sequer era conhecida pelos operadores.

Com base na análise efetuada, conclui-se então que uma das causas subjacentes à variabilidade observada no comprimento das pontas está relacionada com a ausência de standardização na medida de empurro durante o processo de estiragem. Essa falta de standardização representa uma lacuna no setor e provoca incertezas quanto ao comprimento do defeito “espelho”, bem como dificulta o planeamento da quantidade de matéria-prima necessária para a ponta da estiragem planeada.

4.3.3.2. Método dos processos de apoio

O método dos processos de apoio à estiragem está diretamente relacionado com o comprimento e com a variabilidade do comprimento de PD1 em perfis com a necessidade de fresagem.

Embora existam especificações para os comprimentos de fresagem, verificou-se que estas não estão a ser cumpridas e que existe a necessidade de alterações. O incumprimento das especificações traduz-se na variabilidade do comprimento do defeito provocado pelos processos do setor, cuja causa raiz identificada remete para o facto do comprimento da ponta da barra que é empurrado manualmente pelo operador não ser conhecido, visto que o comprimento fresado pretendido depende desse subprocesso. Atualmente, o comprimento especificado é apenas estimado, dado que não existe um sistema rigoroso que consiga medir o comprimento do empurro provocado pelo operador.

Adjacente à causa raiz em cima abordada, verificou-se também que não existe um sistema de medição rigoroso para os procedimentos de fresagem, o que acrescenta mais variabilidade ao processo e ao comprimento do defeito que resulta do mesmo.

A segunda causa raiz identificada para a variabilidade de PD1 em perfis fresados aponta para a falta de conhecimento acerca dos procedimentos de fresagem a executar em alguns tipos de perfis, nomeadamente, perfis especiais. A falta de standardização dos procedimentos origina diferentes defeitos e comprimentos variáveis dos defeitos nas pontas da frente dos perfis deste cariz e, nesse sentido, entende-se que a causa raiz mencionada é uma das principais fontes da variabilidade observada na percentagem de sucata desses perfis nos últimos anos, tal como evidenciado na secção 4.2.2.3.

As fontes de variabilidade identificadas têm impacto na informação que chega ao planejamento da quantidade de matéria-prima e, conseqüentemente, têm influência no comprimento de MOP.

Embora não se relacione diretamente com as causas raiz identificadas para a variabilidade de PD1 em perfis fresados, a necessidade de realizar o 5S no setor da fresagem é clarividente e tem influência indireta na variabilidade identificada nos comprimentos de fresagem. Esta variabilidade é causada pela falta de ferramentas adequadas e/ou utilização de ferramentas equivocadas. Além disso, a falta de motivação do operador, um dos sistemas de causas abordado no diagrama da Figura 4.36, é outra das conseqüências desta necessidade e afeta o rigor do trabalho realizado, impactando, de forma indireta, na variabilidade do comprimento de PD1 em perfis fresados.

Assim sendo, fica evidente que o método dos processos de fresagem contribui significativamente para a variabilidade da ponta de sucata e que este setor carece de implementação de melhorias.

4.3.3.3. Método e sistema de medição do processo de corte dos estirados

O método do processo de corte dos estirados e o sistema de medição utilizado nesse processo estão diretamente relacionados com o comprimento e a variabilidade do comprimento de MOC.

Atualmente, o método do processo de corte apresenta elevada variabilidade no posicionamento das barras estiradas sobre a máquina de corte. O posicionamento é efetuado de forma diferenciada em cada máquina de corte de disco do setor. Na CD 1, o subprocesso de posicionar a barra é mais capacitado, no entanto é dependente do operador e de toda a variabilidade associada ao ser humano (Figura 4.40). Na CD 2, embora exista mais automatização nessa linha do setor, o sistema de caminho de rolos presente na mesma é utilizado para posicionar a barra sobre a máquina de corte, o qual não tem capacidade para garantir o posicionamento adequado (Figura 4.39). Ou seja, mesmo que o movimento dos rolos pare quando a barra está na posição exata, este sistema não garante que a barra trave o movimento instantaneamente, sendo na maioria das vezes necessário que o operador ajuste o posicionamento, embora o faça com grande incerteza da posição adequada, orientando-se apenas através de referências visuais criadas pelos próprios operadores.

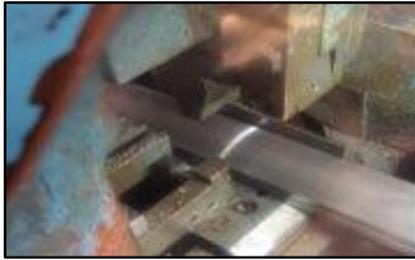


Figura 4.40 – Posicionamento da barra para o corte definido pelo operador em CD 1.



Figura 4.39 – Posicionamento da barra para o corte definido pelo caminho de rolos em CD 2.

Quanto ao sistema de medição utilizado no processo abordado, este difere em cada umas das linhas. No entanto, em ambas existe a presença de erros de medição. O erro na medição efetuada em CD 1 é associado ao erro humano e ao rigor do operador no trabalho a realizar, enquanto na CD 2, o erro deriva dos *encoders* de medição utilizados em linha, para os quais é estimado um erro associado de aproximadamente 50 mm.

A presença de MOC na ponta de sucata provém exclusivamente do processo de corte, onde se conclui que a dependência do fator humano é a principal causa no caso da primeira linha de estiragem, enquanto o erro associado aos sensores de medição utilizados e a ineficácia do posicionamento das barras sobre a máquina de corte são as principais causas no caso da segunda linha de estiragem.

4.4. Fase IV – Melhorar

A presente secção tem como principal objetivo a realização e implementação de propostas de melhoria. Contudo, a implementação das melhorias propostas foi limitada pelas decisões dos órgãos superiores da organização e pelo tempo disponível para a realização do projeto. Previamente, recorreu-se ainda à ferramenta *Brainstorming* com a finalidade de gerar ideias de melhoria.

4.4.1. *Brainstorming*

Para se dar início à quarta fase do ciclo DMAIC, recorreu-se à técnica de *Brainstorming*, descrita na secção 2.2.4.2. com o objetivo de gerar e discutir ideias de melhoria para reduzir a quantidade de desperdício do setor.

As duas sessões realizadas e conduzidas pelo autor deste documento, contaram cada uma com dez participantes, entre os quais operadores do setor de estiragem, operadores do setor de apoio à estiragem, responsáveis dos setores, engenheiros de processo, engenheiros de produto e gestores de produção.

Na primeira fase de cada sessão, realizou-se uma apresentação onde foram abordados os principais conceitos do *Brainstorming*, as principais regras, os principais objetivos da sessão e o estado atual do setor.

Na segunda fase de cada sessão, realizou-se efetivamente a atividade de *Brainstorming*, onde cada participante teve à sua disposição vários cartões para que pudesse escrever as suas ideias. Após todos terminarem, os cartões foram recolhidos e afixados num quadro. Tendo em conta que algumas das ideias geradas eram similares, optou-se por agrupá-las em pequenos blocos, de acordo com as Figuras 4.41 e 4.42.



Figura 4.42 – Conjunto de ideias geradas na primeira sessão de *Brainstorming*.

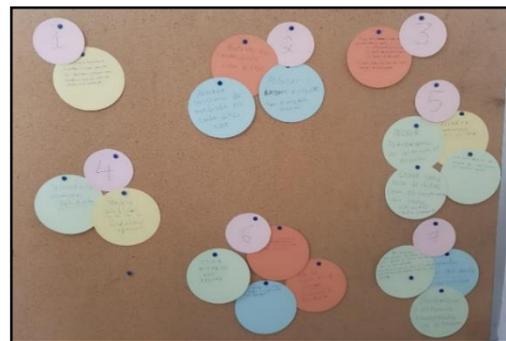


Figura 4.41 – Conjunto de ideias geradas na segunda sessão de *Brainstorming*.

Para finalizar cada sessão, identificaram-se as melhores ideias e definiu-se uma ordem de importância através de um sistema de votações (Figura 4.43 e Figura 4.44).

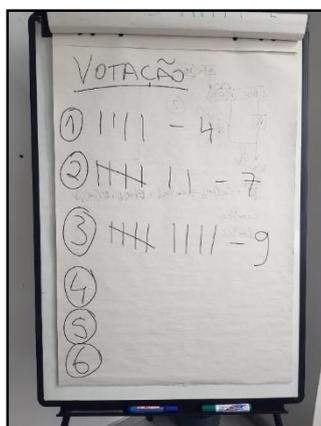


Figura 4.43 – Votação realizada na primeira sessão de *Brainstorming*

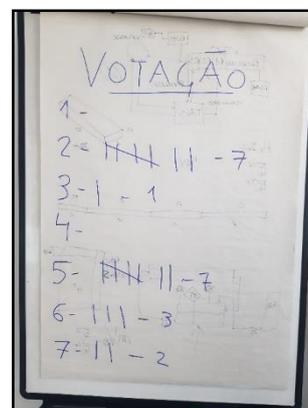


Figura 4.44 – Votações realizadas na segunda sessão de *Brainstorming*.

Em suma, ao longo das duas sessões foram recolhidas um total de trinta e três ideias, agrupadas em dez blocos, de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 – Ideias geradas no decorrer das sessões de Brainstorming realizadas.

Nº	Ideias de Melhoria
1	Utilização de batente no corte
2	Alterações no planeamento da laminagem
3	Standardizar o valor empurrado
4	Standardizar o comprimento a fresar
5	Colocar referências visuais para as medidas de comprimento no corte
6	“Scannear” em linha e medição de defeitos
7	Melhorias no corte laminagem
8	Aproveitar zona de "stick"/pontas da laminagem para realizar a fresagem antes de estirar
9	Fresa automática
10	Analisar a possibilidade de não cortar pontas com certos defeitos

A partir das votações realizadas, foram identificadas as seguintes propostas de melhoria com maior votação:

1. Utilização de batente no processo de corte;
2. Alterações no planeamento da laminagem;
3. Standardização do valor empurrado no processo de estiragem;
4. Standardização do comprimento fresado.

4.4.1.1. Matriz Custo vs. Benefício

Para uma gestão mais eficaz do tempo e para definir as prioridades de forma mais eficiente, foi executada uma Matriz custo vs. benefício, adaptada da Matriz de Covey, apresentada na Figura 4.45.

Em conjunto com a equipa de engenharia, foram estimados os custos de aquisição e de desenvolvimento de projeto, bem como os benefícios da implementação de cada uma das quatro melhorias mais votadas. A estratégia utilizada para definir a posição de cada proposta na matriz custo vs. benefício, pode ser encontrada no Apêndice I.

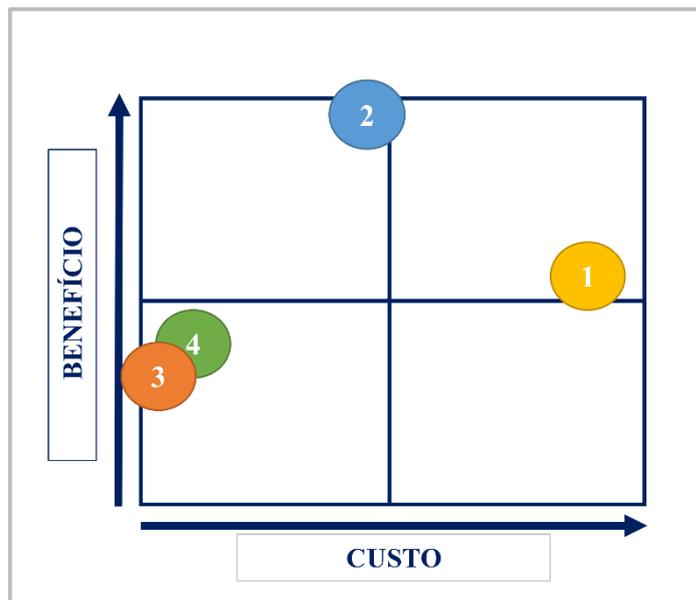


Figura 4.45 – Matriz Custo vs. Benefício das ideias de melhoria mais votadas nas sessões de Brainstorming.

A matriz desenvolvida indica que a ideia nº 2 é a ideia com mais capacidade a nível de benefício. Esta ideia encontra-se no 2º quadrante, indicando que a sua implementação é de elevada relevância e que é urgente que se inicie ações nesse sentido. Contudo, a implementação desta melhoria exige um tempo de projeto aproximadamente três vezes superior ao tempo do estágio realizado e, além disso, o seu desenvolvimento estende-se para além das fronteiras estabelecidas inicialmente. Nesse sentido, a implementação dessa melhoria foi descartada deste projeto.

A ideia nº 1 caracteriza-se por exigir um maior esforço por parte da empresa. Esta ideia encontra-se no 1º quadrante, indicando que é uma ideia de melhoria importante, no entanto não é urgente visto que se deve priorizar a implementação de ideias com menores custos para a empresa. Nesse sentido, entendeu-se apenas pertinente deixar à organização uma proposta de melhoria para implementação futura.

As ideias no 3º quadrante da matriz custo vs. benefício, nomeadamente as ideias nº 3 e nº 4, caracterizam-se por oferecer um nível de benefício inferior quando comparadas com duas primeiras. No entanto, é importante ressaltar que essas ideias se destacam por acarretarem custos menores durante a sua implementação e, analisando o balanço entre o nível de benefício e o nível de custos, conclui-se que o retorno é bastante mais significativo

que o esforço exigido. Dessa forma, procedeu-se ao desenvolvimento dessas mesmas melhorias e iniciou-se as suas implementações.

4.4.2. Propostas de melhoria

4.4.2.1. Nova especificação no processo de estiragem – medida de empurro CD 2

Após as sessões de *Brainstorming* e a análise realizada em 4.3.2.2., decidiu-se implementar uma nova especificação no processo de estiragem, designada por medida de empurro.

A nova especificação vai permitir standardizar e também reduzir o comprimento do defeito nas pontas de sucata em perfis não fresados, produzidos na CD 2. Além disso, a especificação vai também permitir aumentar o conhecimento sobre o processo e, dessa forma, reduzir as margens de segurança atribuídas pelo planeamento no consumo de matéria-prima e as margens de segurança utilizadas pelos operadores de corte na máquina de corte da primeira ponta. Posto isto, entende-se que a nova especificação terá impacto nas três classes da ponta de sucata e vai contribuir significativamente para a diminuição e previsibilidade da sucata no setor.

Embora o esforço estimando para o desenvolvimento desta melhoria não seja significativo, entende-se que para ser possível a sua implementação, é necessário um longo período de recolha de dados, explicado pela elevada quantidade de produtos fabricados no setor. Desta forma, não foi possível concluir a implementação da nova especificação no setor, durante o período estabelecido para o projeto, e apenas foram iniciadas algumas ações para a sua implementação, abordadas em seguida.

Criou-se uma folha de medições do empurro hidráulico, presente no Apêndice J, e realizou-se a formação dos operadores da estiragem para estes serem os responsáveis pela recolha de informação. Os operadores foram também alertados sobre a relação que existe entre a medida de empurro e o comprimento do defeito nas pontas e, nesse sentido, foram também instruídos para utilizarem as maiores medidas de empurro possíveis para cada produto, sem comprometerem a boa execução do processo de estiragem.

Criou-se também a ferramenta *cold drawing specifications generator* (CDSG), representada na Figura 4.46, com o objetivo de facilitar o processo de análise dos dados que vão ser recolhidos ao longo do tempo. Esta ferramenta tem a capacidade de gerar os

parâmetros ideais para o processo de estiragem, tendo em conta o menor comprimento de defeito de ponta, sem comprometer a qualidade e eficiência do processo. Além da medida de empurro, o CDSG também fornece especificações para o número da fieira a ser utilizada, o tipo de mordentes a serem empregados no carro da estiragem e o tipo de mordentes a serem utilizados no empurrador.

Motor de pesquisa CDSG						
Operador	Código artigo SAP	Nº da fieira	Mordentes Empurrador	Mordentes Carro	Medida de empurro	Medida da ponta
	943975					

Resultado						
Operador	Código artigo SAP	Nº da fieira	Mordentes Empurrador	Mordentes Carro	Medida de empurro	Medida da ponta
359	943975	1364	30-50	15-45	210	134,1

Figura 4.46 – Exemplo da aplicabilidade da ferramenta CDSG.

Teste piloto

Embora não tenha sido possível concluir a implementação desta melhoria durante o projeto de estágio, decidiu-se realizar um teste piloto da aplicação desta nova especificação no processo de estiragem, a partir dos dados recolhidos até ao final do mês de maio. O teste, em escala reduzida, foi realizado com o objetivo de avaliar a viabilidade e o impacto da melhoria na produção de sucata no setor.

O primeiro passo realizado foi a escolha do produto a ser testado. Nesse sentido, recorreu-se aos dados recolhidos pelos operadores da estiragem, aos dados recolhidos na fase de medição e ao planeamento da produção da estiragem para selecionar um perfil com informação suficiente para avaliar e comparar resultados em um teste piloto. O perfil selecionado foi o quadrado 39,75 com LSC 3963 mm. Posto isto, recorreu-se à ferramenta CDSG que indicou, a partir dos dados já recolhidos, a medida de empurro 210 para o perfil quadrado 39,75. O teste piloto realizou-se na CD 2, a partir da produção de três atados deste tipo de perfil, para a qual foi utilizado o parâmetro de empurro indicado pela ferramenta. Para a recolha os dados, recorreu-se ao sistema definido para esse efeito, utilizado na segunda fase do ciclo DMAIC.

Conforme a Tabela 13 e a Figura 4.47, os resultados obtidos no teste evidenciaram a diminuição de 6,47% do comprimento da ponta de sucata, no entanto, entendeu-se que cerca de 50% da diminuição foi afetada pela variabilidade presente em

MOC. Por outro lado, o comprimento de PD1 apresentou uma diminuição de 3,60%, demonstrando, dessa forma, o impacto positivo da utilização da especificação de empurro no processo de estiragem.

Tabela 13 – Resultado do teste realizado ao perfil quadrado 39,75 com LSC 3963.

Comprimento médio de ponta	PD1	PD2	PD	MOC	MOP	Ponta de Sucata
Sem especificação	140,8	4,3	145,2	28,4	0,0	173,6
Com especificação	135,3	4,3	139,6	22,7	0,0	162,3
Resultado	-3,94%	-0,29%	-3,83%	-19,95%	0,00%	-6,47%

A percentagem de sucata média obtida a partir da produção dos três atados durante o teste foi de 2,63 %, menos 15% do que a percentagem de sucata obtida nos atados medidos na fase de medição deste projeto e menos 28,5% do que a média de sucata obtida a partir da análise dos anos anteriores.

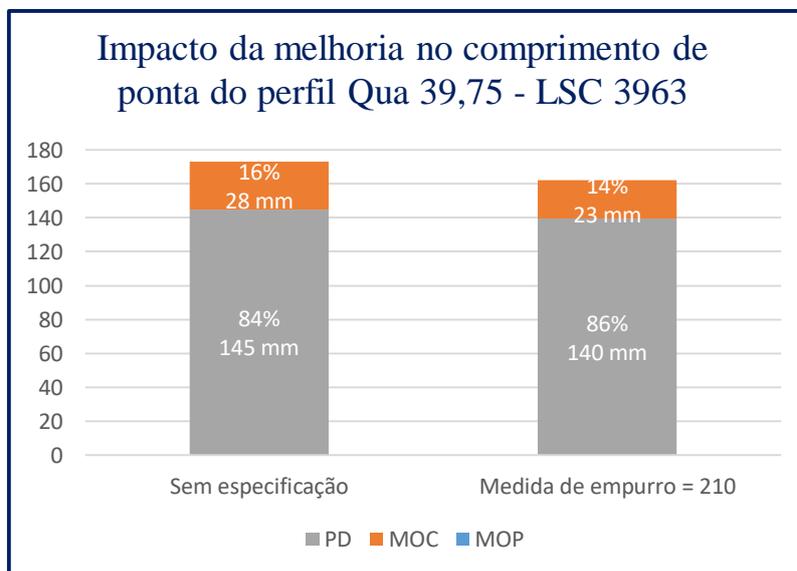


Figura 4.47 – Demonstração do resultado obtido nos testes realizados.

De acordo com as distribuições obtidas a partir dos dados recolhidos na fase de medição e no teste piloto, representadas nas Figuras 4.48 e 4.49, respetivamente, a utilização da especificação permitiu não só reduzir o comprimento médio do defeito na ponta da frente, como também diminuir a variabilidade presente no alongamento do defeito. Nesse sentido, a partir do teste realizado verificou-se a diminuição do desvio padrão, onde o desvio padrão

obtido pelo teste realizado foi de 2,77 mm, enquanto a partir dos dados recolhidos durante a fase de medição, sem a utilização de qualquer especificação, registou-se um desvio padrão de 5,30 mm.

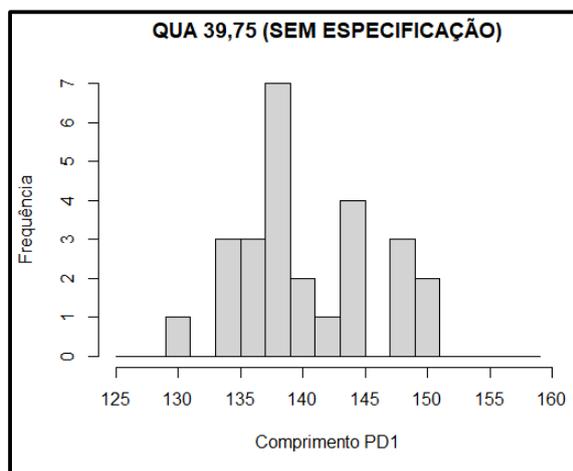


Figura 4.49 – distribuição de PD1 obtida a partir dos dados recolhidos na fase de medição.

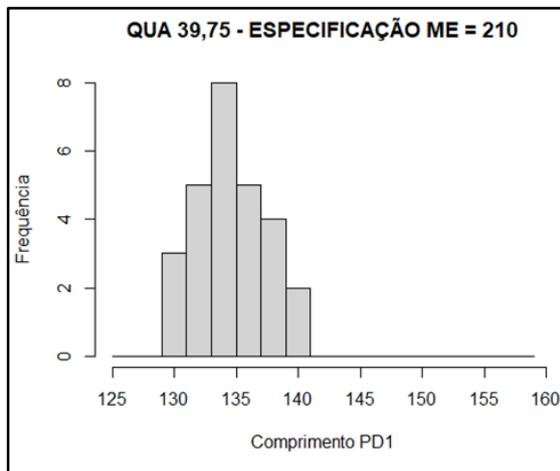


Figura 4.48 – distribuição de PD1 obtida a partir dos dados recolhidos no teste piloto.

Embora o teste tenha apresentado

um resultado positivo, é importante ressaltar que o perfil utilizado não representa adequadamente a variabilidade observada no comprimento do defeito na ponta da frente, em comparação com o observado em outros perfis na fase de medição. No entanto, mesmo sendo um dos perfis com menor necessidade de melhorias, o teste demonstrou um impacto positivo e, portanto, espera-se que a implementação desta melhoria tenha um impacto significativo na redução de sucata no setor, especialmente em perfis cujo comprimento de MOP não se evidencie. Além disso, prevê-se que, após a implementação completa da nova especificação no setor, os operadores de corte poderão reduzir a margem de segurança aplicada no batente da máquina de corte para a primeira ponta da barra, resultando numa diminuição no comprimento dessa ponta e, conseqüentemente, na quantidade de sucata produzida.

Impacto financeiro

A partir dos resultados obtidos no teste piloto, procurou-se estimar o impacto financeiro da melhoria em implementação. Para tal, utilizou-se o coeficiente de redução de PD1, 3,60%, obtido a partir do perfil testado, como o valor médio esperado para a redução de PD1 em toda a gama de produtos não fresados. Contudo, dada a variabilidade observada no estado atual do comprimento do defeito “espelho” e a incerteza que ainda existe em relação à medida de empurro a ser utilizada para cada produto, entende-se que esta estimativa

posse não ser a mais adequada. Ainda assim, procedeu-se à análise do benefício financeiro, onde através da interpolação do peso médio de PD1 em perfis não fresados a partir dos dados da amostra, estimou-se a redução de desperdício esperado. Os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 14 e a análise mais detalhada pode ser observada no Apêndice L.

Tabela 14 – Benefício financeiro estimado para a melhoria proposta.

Redução de ponta	Poupança (€/ponta)	Poupança (€/hora)	Poupança (€/turno)	Poupança (€/mês)
3,6 %	0,19	4,56	34,21	2.258,15

4.4.2.2. Alteração das especificações de comprimento a fresar

O comprimento de fresagem necessário corresponde ao comprimento da ponta necessário para atravessar a fieira e ser “mordido” pelos mordentes do carro da estiragem. Ao contrário do que acontece com perfis não fresados, os perfis fresados não realizam a extrusão inicial provocada pelo empurrador e, por sua vez, são empurrados manualmente pelo operador. Atualmente, não existe nenhum sistema com a capacidade de ler a quantidade de barra que atravessa a fieira quando é realizado esse subprocesso. Em alternativa, entendeu-se necessário recolher a informação que tem sido transmitida ao longo do tempo entre os operadores da estiragem e os operadores da fresagem, visto que os comprimentos realmente aplicados na fresagem estão mais adequados do que os comprimentos especificados nas etiquetas. Nesse sentido, alterou-se as instruções standard (IST) de produção dos processos de fresagem, de modo a instruir, aos operadores do setor, um novo procedimento de trabalho, o registo do comprimento real de fresagem no *software* Movilizer, após o processamento de cada atado. As instruções standard de produção, com a alteração realizada, podem ser observadas no Apêndice M.

Após o longo período de recolha de dados, mais uma vez derivado da elevada variedade de produtos fabricados, espera-se alcançar a informação real dos comprimentos de fresagem aplicados. A partir da análise dos dados recolhidos serão tomadas as decisões no sentido de alterar, ou não, as especificações das etiquetas.

A principal vantagem da standardização dos comprimentos de fresagem estará na redução das margens de segurança utilizadas no planeamento para a ponta de estiragem planeada em perfis fresados. Atualmente, é reconhecido pelo planeamento que as especificações não são cumpridas, no entanto, a falta de informação quanto ao tipo de perfis

em que essas situações ocorrem e quanto ao comprimento fresado a mais, resulta em elevadas margens de segurança. Após a standardização do comprimento de fresagem será possível reduzir significativamente as margens, diminuindo desta forma o comprimento de ponta de sucata.

4.4.2.3. Caderno de fresagem de perfis especiais

A falta de definição dos procedimentos de fresagem em perfis especiais é um dos principais problemas do setor de apoio à estiragem. A incerteza dos procedimentos a realizar nesse tipo de perfis resulta em tempos de processamento prolongados e em variações significativas do comprimento do defeito provocado, demonstrando impacto direto na eficiência produtiva do setor e na percentagem de sucata desses tipos de perfis, a qual foi verificada na secção 4.2.2.3.

A fim de solucionar essa questão, procedeu-se ao desenvolvimento de um caderno de fresagem de pontas para estirar em perfis especiais, em que o conteúdo são especificações técnicas (ET) dos procedimentos para a fresagem de cada tipo de perfil especial.

O desenvolvimento do caderno foi iniciado através de reuniões com membros da engenharia de produto, engenharia de processo e com o operador do setor de fresagem com mais anos de experiência. Após a recolha de informação necessária durante as reuniões executadas, procedeu-se ao desenvolvimento do caderno que, posteriormente, foi afixado no posto de trabalho do setor (Figura 4.50). Algum do trabalho desenvolvido pode ser observado no Apêndice N.



Figura 4.50 – Caderno de fresagem de pontas para estiragem de perfis especiais.

O caderno permitiu garantir a standardização dos procedimentos de fresagem em perfis especiais, uma necessidade antiga do setor. Com essa standardização, é esperado que a variabilidade do comprimento do defeito na ponta em perfis especiais diminua significativamente e, em consequência, o planeamento diminua as margens de segurança atribuídas no consumo de matéria-prima.

4.4.2.4. Batente flexível em CD 1

Com o objetivo de resolver o problema identificado com a variabilidade de MOC e de reduzir a influência do processo de corte no comprimento da ponta de sucata, desenvolveu-se uma proposta de melhoria, a qual foi aceite pela empresa e será implementada aquando do término do período de estágio. A proposta consiste no desenvolvimento de um sistema de batente com a capacidade de eliminar o erro humano do processo (Figura 4.51), permitindo otimizar a quantidade de produto enviado para o cliente e reduzir a ponta de sucata gerada no processo de corte em CD 1. Esta proposta foi adaptada de um sistema utilizado na organização, nomeadamente no corte da matéria-prima da laminagem.

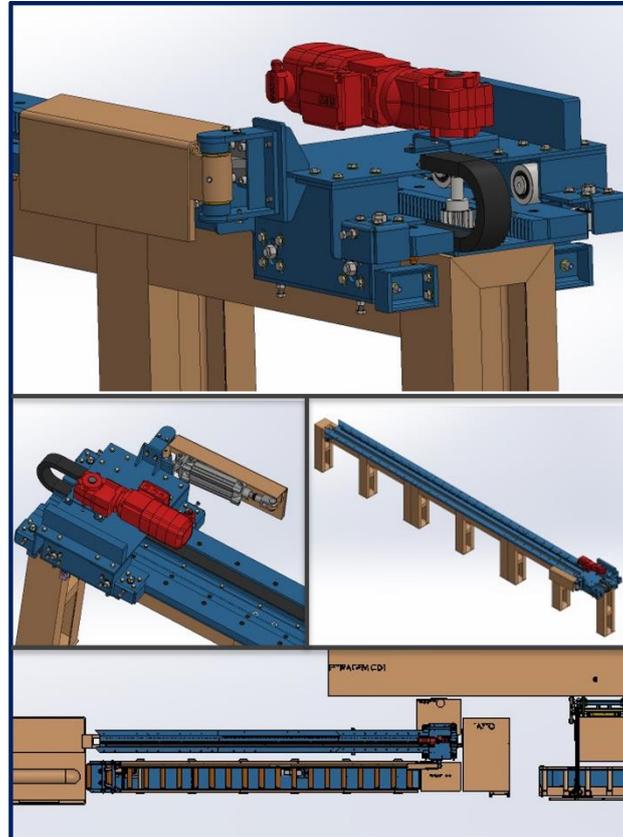


Figura 4.51 – Representação do batente flexível em *SOLIDWORKS* 2021 (Adaptada pelo autor).

A melhoria proposta consiste num batente que funcionará segundo um sistema pneumático que lhe vai permitir realizar movimentos de abertura de 90° e movimentos de recolha à posição base. Este batente terá a capacidade de se deslocar ao longo de sete metros de comprimento através de uma guia linear, inserida na bancada de suporte. O seu posicionamento será definido através das especificações inseridas em um controlador. A utilização deste batente vai permitir standardizar o comprimento das barras finais enviadas para o cliente e standardizar o comprimento da ponta da frente de cada barra estirada, reduzindo assim a variabilidade que atualmente existe no processo. Contudo, estará sempre dependente da quantidade de barra estirada que dá entrada no processo.

Embora não tenha sido desenvolvida a ideia, existe ainda a possibilidade de associar a esta melhoria um sistema de medição automatizado com alto nível de precisão. Esse sistema de medição seria implementado imediatamente antes do processo de corte e teria a capacidade de enviar informações para o batente. Dessa forma, a otimização do comprimento de corte poderia ser realizada de forma individual para cada barra, sem comprometer o tempo de processamento. A combinação dessas melhorias, além de reduzir a quantidade de sucata e aumentar os ganhos com a otimização da quantidade do produto vendido, também permitiria a eliminação do operador no processo.

Impacto financeiro

O orçamento estimado para o batente tem o valor de 34 400 € e prevê-se que o seu desenvolvimento demore entre oito a dez semanas. Dada a incerteza associada ao efeito desta melhoria na produção de MOC, entendeu-se estimar o retorno financeiro através de uma análise de cenários, onde no melhor cenário não existiria a produção de MOC, no cenário intermédio o MOC seria em média igual a 5 mm e no pior cenário este teria o valor de 10 mm. A abordagem utilizada para estimar o retorno financeiro pode ser observada no Apêndice O, cujos principais resultados estão representados no Tabela 15.

Tabela 15 – Retorno financeiro da proposta de melhoria.

Cenário	Ponta	Hora	Turno	Mês
Melhor	+ 0,45 €	+ 14,28 €	+ 107,09 €	+ 4.712,03 €
Intermédio	+ 0,38 €	+ 12,12 €	+ 90,87 €	+ 3.998,09 €
Pior	+ 0,31 €	+ 9,95 €	+ 74,64 €	+ 3.284,14 €

Segundo a análise realizada na Figura 4.52, espera-se que o melhor cenário, o cenário intermédio e o pior cenário atinjam o *Break Even Point* ou, por outras palavras, o ponto de equilíbrio entre o investimento e o retorno financeiro, ao fim de 33, 38 e 46 semanas, respetivamente.

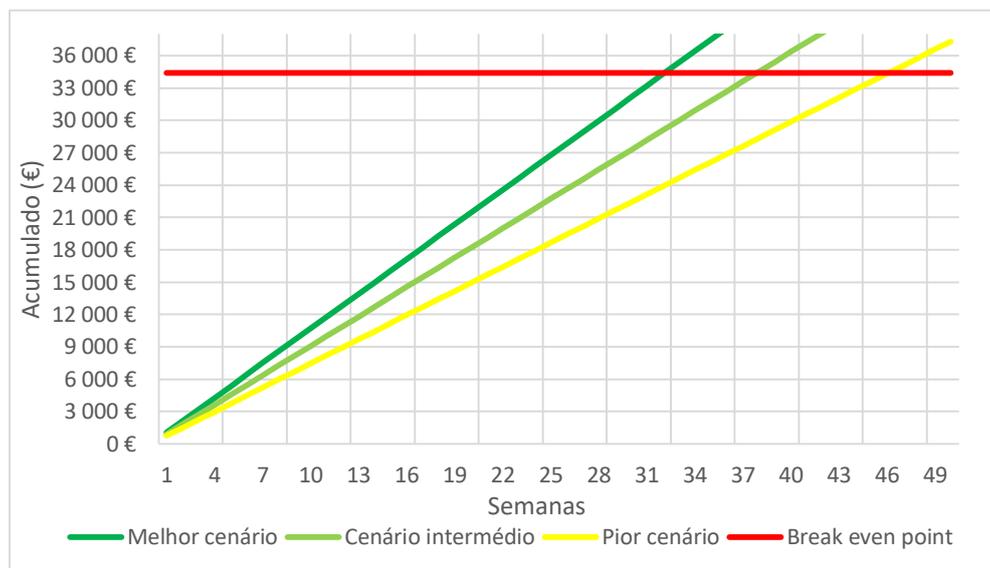


Figura 4.52 – Análise do *Break Even Point* de cada cenário.

4.4.2.5. Redução da quantidade de matéria-prima planeada de um perfil específico

A análise realizada na secção 4.3.1.3. indicou que existe uma alta probabilidade de se observar comprimentos elevados de MOP em perfis retangulares 41 x 11 com o LSC 3200 mm e, apesar da elevada variabilidade dos dados evidenciados pela amostra, foi possível concluir que existe uma grande margem de melhoria no planeamento da quantidade de matéria-prima desse tipo de perfil.

Embora o projeto em desenvolvimento esteja delimitado ao setor da estiragem e de apoio à estiragem, decidiu-se analisar individualmente o perfil mencionado e desenvolver uma proposta ao setor do planeamento, com o objetivo de reduzir a sucata produzida por esse perfil específico. Nesse sentido, através da análise aprofundada da amostra e dos dados históricos do perfil, presente no Apêndice P, propôs-se a redução de 1,25% da quantidade de matéria-prima planeada desse produto para a estiragem.

4.4.3. Aplicação da metodologia 5S

Visto que se iniciou e implementou algumas melhorias no setor de fresagem com o objetivo principal de standardizar procedimentos e reduzir a variabilidade no setor, decidiu-se também aplicar a metodologia 5S. A necessidade de implementação desta metodologia era evidente e, além de se refletir na eficiência produtiva do setor e na motivação dos operadores, também se refletia na variabilidade do comprimento de defeito provocado nas pontas.

Começou-se por selecionar os materiais ou ferramentas que são alvo de uma utilização diária, eliminar materiais obsoletos ou de utilização mais esporádica e adquirir material necessário que não existia no setor. Foram realizadas algumas alterações a nível estrutural, através da aquisição de um quadro para afixação (Figura 4.55) de informação relevante, aquisição de uma estação de limpeza (Figura 4.57) e aquisição de gavetas para guardar as ferramentas. Organizou-se todo o material ou ferramentaria, tendo em conta a sua aplicação no espaço de trabalho de forma mais eficaz (Figura 4.53). Realizou-se a limpeza das bancadas de trabalho e procedeu-se à etiquetagem das mesmas e foram também definidas algumas regras de organização do espaço, de modo a garantir a permanência imaculada do espaço ao longo do tempo. Por fim, envolveu-se todos os operadores do setor com as práticas 5S, pelas quais serão avaliados mensalmente através de auditorias, conforme a que está apresentada no Anexo A.



Figura 4.54 – Estado inicial da bancada de apoio à fresagem.



Figura 4.53 – Estado final da bancada de apoio à fresagem.



Figura 4.56 – Estado inicial da bancada de posto de trabalho do setor.



Figura 4.55 – Estado final da bancada de posto de trabalho do setor.



Figura 4.58 – Localização inicial do material de limpeza.



Figura 4.57 – Nova estação de limpeza do setor.

Após a implementação desta metodologia, é esperado que a motivação dos operadores e a eficiência produtiva do setor aumente, assim como, conseqüentemente, a variabilidade dos processos realizados diminua.

4.4.4. Resumo das melhorias propostas

Além das propostas de melhoria abordadas, entendeu-se pertinente deixar uma pequena abordagem a outras propostas com potencial impacto na redução de sucata no setor que, no entanto, não tiveram a oportunidade de ser desenvolvidas durante o decorrer deste projeto. Essas propostas podem ser observadas na Tabela 16, bem como um resumo de todas as propostas de melhoria desenvolvidas pelo autor.

Tabela 16 – Resumo das propostas de melhoria.

	Propostas de Melhoria	Ganhos	Ponta de Sucata	Status de implementação
1	Aplicação 5S - Fresagem	Melhoria na transmissão de informação; Motivação do operador.	PD	Implementada
2	Desenvolvimento de um caderno de perfis especiais	Standardização; Diminuição da variabilidade de ponta fresada.	PD	Implementada
3	Recolha de informação de comprimentos fresados	Redução da variabilidade do comprimento fresado.	PD	Em progresso
4	Colocar batente na fresadora	Redução da variabilidade do comprimento fresado.	PD	Não desenvolvido
5	Especificação da medida de empurro na estiragem	Redução da variabilidade e standardização do comprimento do defeito “espelho”; Otimização do batente de corte disco 1ª ponta CD 2.	PD MOC	Em progresso
6	Sensor com capacidade de ler o empurro e transmitir informação para o batente de corte disco da 1ª ponta CD 2	Redução da produção de barras curtas; Otimização do comprimento de barra para cliente.	MOC	Não desenvolvido
7	Desenvolvimento de batente para o corte CD1	Diminuição da variabilidade no corte; Otimização do comprimento de barra para cliente; Redução da produção de barras curtas; Redução de um posto de trabalho.	MOC	Em progresso
8	Desenvolvimento de sistema de medição automático CD1 (transmissão de informação para batente)			Não desenvolvido
9	Desenvolvimento de batente móvel para o corte disco - CD2	Diminuição da variabilidade no corte; Otimização do comprimento de barra para cliente; Redução da produção de barras curtas.	MOC	Não desenvolvido
10	Trocar sistema de medição atual para medição a laser PROTEN (transmissão de informação para o batente – melhoria 7 e 9)	Diminuição da variabilidade no corte; Otimização do comprimento de barra para cliente; Redução da produção de barras curtas.	MOC	Não desenvolvido
11	Base de dados (dados enviados diretamente pelos sensores)	Informação de comprimentos de barra e de comprimento de pontas.	MOP	Não desenvolvido
12	Redução da matéria-prima no perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200 mm	Redução de sucata no perfil.	MOP	Em análise

4.5. Fase V – Controlar

A presente secção tem como principal objetivo estabelecer as metodologias de controlo a utilizar de forma a controlar o desempenho da produção de sucata após a implementação das melhorias. Visto que não foi possível concluir a implementação de nenhuma das propostas de melhoria, as medidas de controlo definidas foram baseadas em uma visão a longo prazo. Além das metodologias apresentadas em seguida, pretende-se dar continuidade a algumas metodologias de controlo já aplicadas nos setores abordados neste projeto, tais como a afixação mensal dos KPIs e a realização de auditorias mensais 5S.

No final desta secção serão também apresentados os resultados obtidos, através da comparação entre o estado atual e o estado inicial dos indicadores-chave definidos para este projeto.

4.5.1. Carta de controlo estatístico

A carta de controlo estatístico é uma ferramenta bastante utilizada para garantir a monitorização e o controlo do desempenho de um processo ao longo do tempo. A utilização dessa ferramenta permite identificar qualquer variabilidade indesejada e tomar medidas corretivas, garantindo que o processo permaneça dentro dos limites aceites pela organização.

No contexto deste projeto, entendeu-se pertinente introduzir esta metodologia no controlo de sucata do setor. Após a minimização e otimização do desperdício esperada após a implementação total das melhorias propostas, o objetivo passa por criar uma carta de controlo estatístico para cada produto produzido no setor, de acordo com a primeira fase definida por Samohyl (2009). Na segunda fase, cada carta será utilizada para monitorizar e controlar a sucata de cada produto específico, permitindo detetar de forma eficaz cada desvio da normalidade e identificar a capacidade e capacidade do processo, métricas utilizadas para avaliar a habilidade e precisão dos processos.

Embora a implementação das melhorias propostas não esteja concluída, decidiu-se desenvolver, prematuramente, a carta de controlo estatístico para um dos produtos fabricados no setor, o qual é considerado um dos mais otimizado em relação ao desperdício produzido.

4.5.1.1. Perfil quadrado 39,75 com LSC 3963

O perfil quadrado 39,75 com LSC 3963 é um dos perfis produzidos no setor que gera menos desperdício e menos variabilidade nos resultados desse desperdício. Após a análise realizada, entende-se que o estado atual da sucata produzida por este perfil está adequado aos objetivos da empresa e que devem ser adotadas medidas a fim de controlar possíveis desvios da normalidade que possam surgir, antes da implementação total das melhorias propostas. Nesse sentido, decidiu-se desenvolver a carta de controlo para este tipo de perfil, com o objetivo de monitorizar a sucata resultante do processo produtivo do mesmo e também com o objetivo de introduzir a carta de controlo no setor.

A amostra recolhida durante este projeto, para este tipo de perfil, é pouco representativa e, dessa forma, recorreu-se aos dados registados no setor em 2022 para a definição dos limites de controlo. Recolheu-se um total de vinte amostras, onde cada amostra é composta pela percentagem de pontas de sucata de cinco atados deste tipo de perfil, sobre os quais existem certezas de que foram estirados, sequencialmente, no mesmo dia pelo mesmo turno e garantias de que pertenciam ao mesmo plano de laminagem, percorrendo todo o fluxo produtivo em simultâneo e mediante as mesmas condições.

A carta de controlo estatístico obtida está representada na Figura 4.59, onde os limites de controlo foram calculados de acordo com as expressões presentes na secção 2.2.5.1.

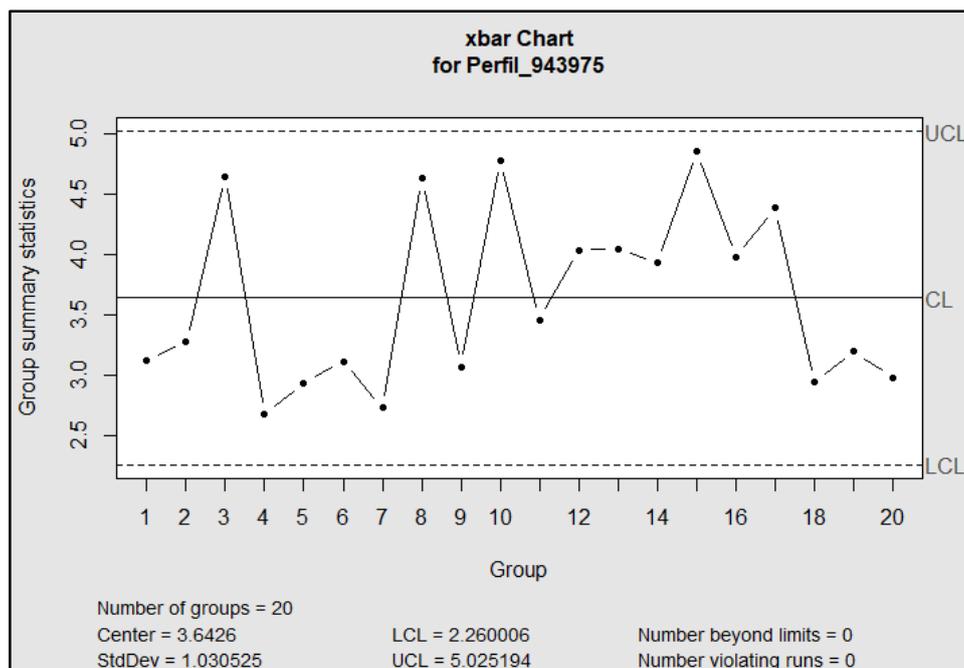


Figura 4.59 – Carta de controlo estatístico da sucata produzida pelo perfil quadrado 39,75 com LSC 3963mm.

4.5.2. Metodologia de controlo do desperdício – Geral

Após a introdução das cartas de controlo estatístico do desperdício que resulta da produção de cada produto, será utilizada a metodologia definida na Figura 4.60. A implementação desta nova metodologia oferece a capacidade de identificar valores anormais de forma imediata, garantido assim a recolha de informação necessária para análise e adoção de medidas corretivas.

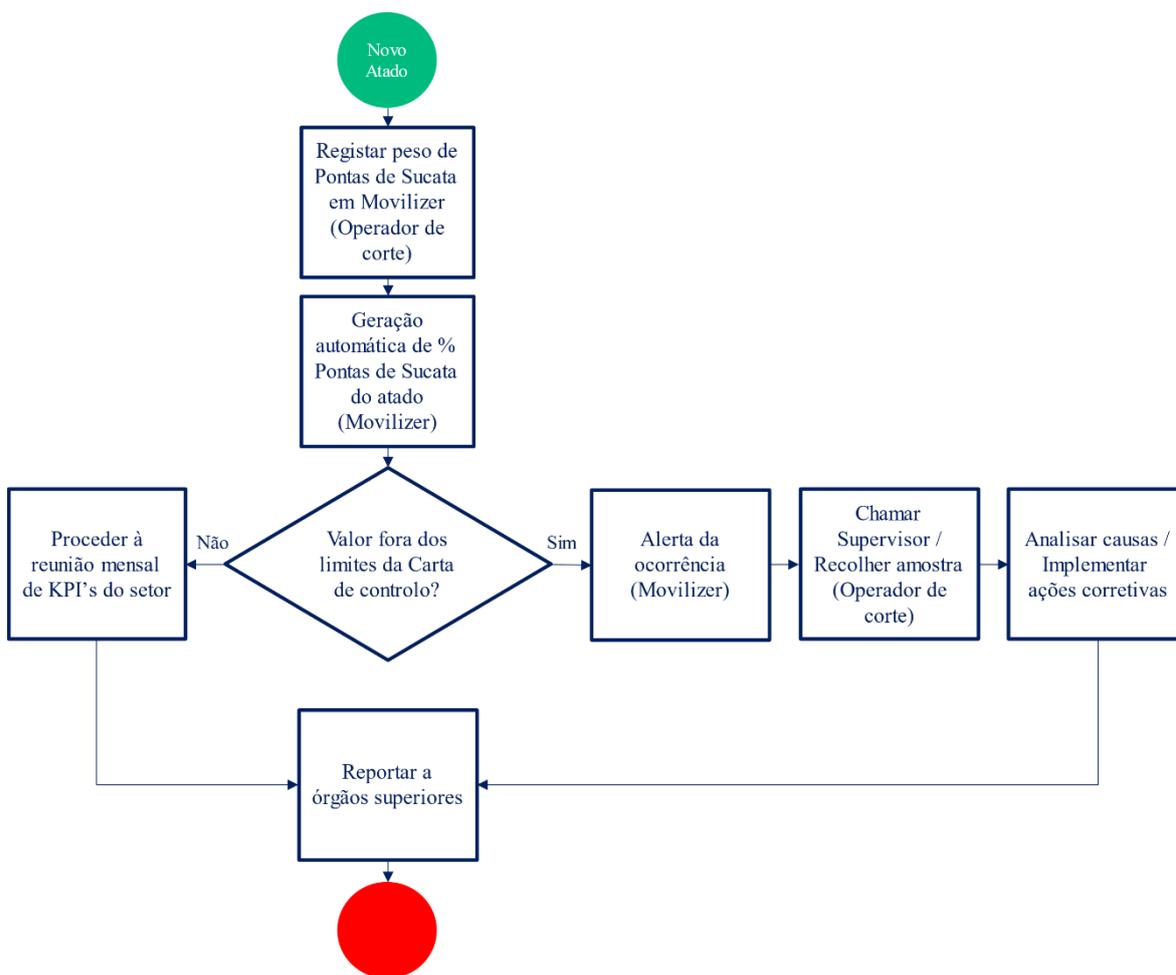


Figura 4.60 – Metodologia de controlo geral do desperdício produzido por cada produto fabricado no setor.

4.5.3. Metodologia de controlo da nova especificação de estiragem

Apesar de se reconhecer que a melhoria referente à nova especificação do processo de estiragem, nomeadamente a introdução de medidas de empurro standardizadas, ainda está numa fase prematura de implementação, optou-se por apresentar à organização uma proposta de metodologia de controlo para utilização futura a fim de garantir a

conformidade no uso da nova especificação. A representação da metodologia proposta está apresentada na Figura 4.61.

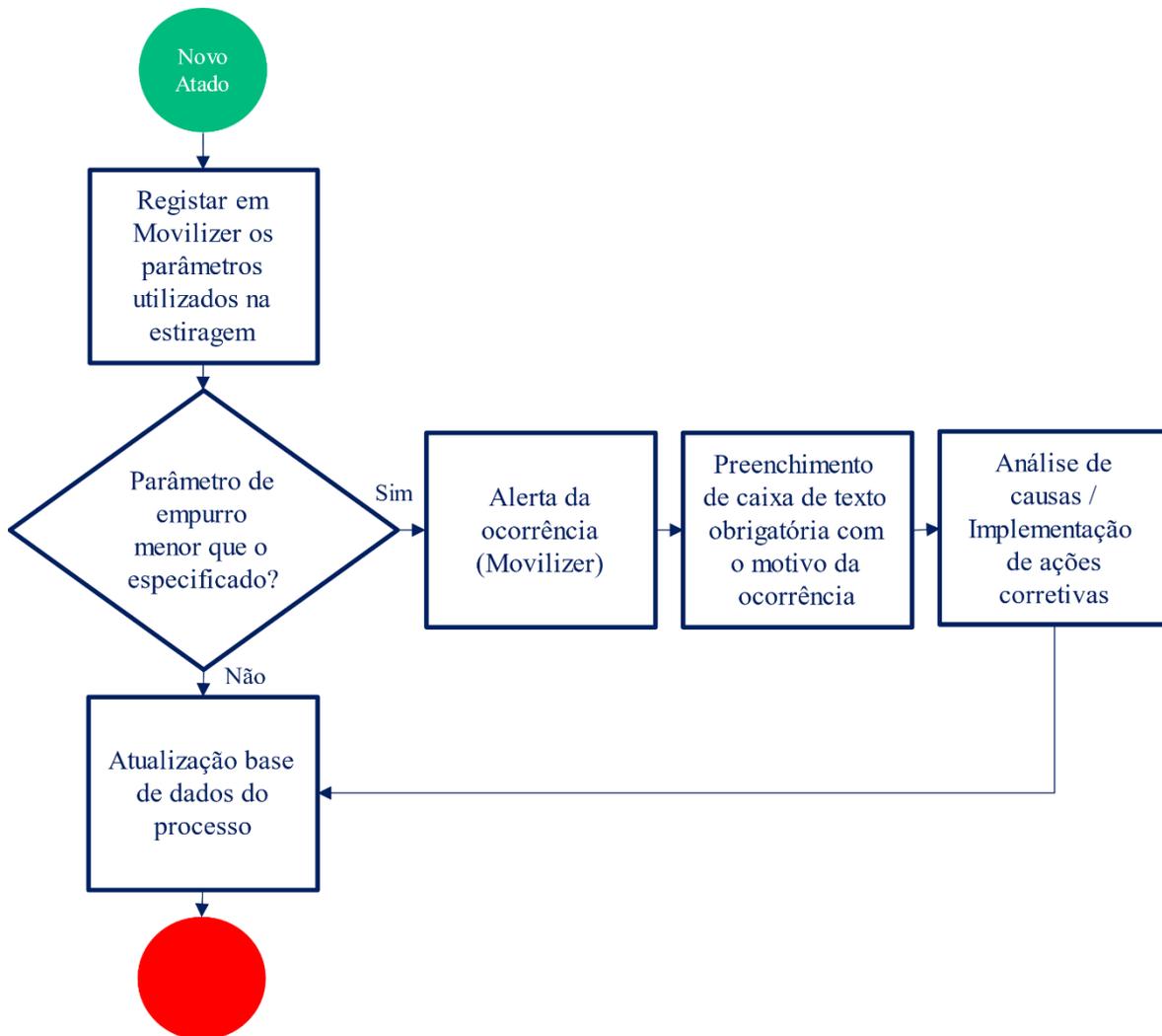


Figura 4.61 – Metodologia de controlo a utilizar para garantir a conformidade da utilização da nova especificação.

4.5.4. Resultados obtidos

Na última fase de ciclo DMAIC, procedeu-se à análise dos resultados obtidos em relação aos objetivos definidos inicialmente, os quais são apresentados pela Tabela 17.

Tabela 17 – Comparação entre os resultados obtidos e os objetivos definidos.

Indicador de desempenho	Pontas de Sucata	Nível Sigma
Objetivos	- 4,00 %	+ 5,00 %
Resultado	+ 7,21 %	- 13,94 %
Estado Final	4,46 %	1,42

A partir dos resultados observados conclui-se que no primeiro semestre do ano 2023 registou-se um aumento dos indicadores de sucata no setor. Estes resultados podem ser explicados por dois acontecimentos inesperados para o setor, registados no segundo trimestre do ano: a redução da procura que se traduziu em produções de lotes em menores quantidades, conforme demonstra o gráfico da Figura 4.62, e entrada, no fim de março, de uma nova matéria-prima proveniente da Índia, que chega à organização já sob a forma laminada e para a qual não é realizada um controlo rigoroso de comprimento.

Este último acontecimento representou mais de 15% da produção do setor no segundo trimestre de 2023, onde a média da percentagem de sucata dos perfis produzidos com essa nova matéria-prima foi de 9,30%, derivada de comprimentos de barra estirada excessivos.

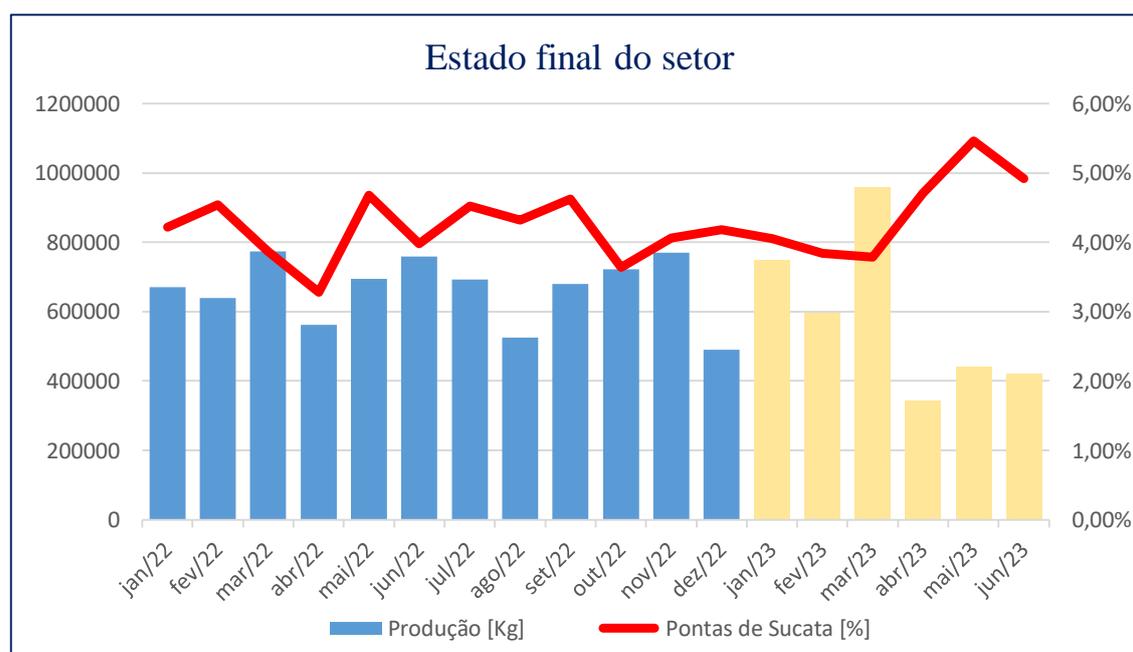


Figura 4.62 – Variação da produção e do indicador de sucata do setor.

De acordo com a Tabela 18, determinou-se que, caso a produção dessa nova matéria-prima, que não estava planeada para este projeto, não tivesse sido iniciada, a percentagem global de sucata do setor no primeiro semestre seria de 4,03%, demonstrando uma diminuição de 3,13% em relação ao valor registado no ano anterior. O nível sigma do processo, por sua vez, teria aumentado 7,27% em relação ao valor registado nos últimos anos, atingido o objetivo definido inicialmente para esse indicador.

Estes resultados que estão mais próximos dos objetivos definidos, podem traduzir o resultado do impacto da ação de melhoria iniciada no processo de estiragem e das melhorias implementadas no setor de fresagem. Em particular, a instrução dada aos operadores para a utilização das maiores medidas de empurro e o caderno desenvolvido para fresagem de pontas para estiragem em perfis especiais, podem ter contribuído significativamente para os resultados obtidos ou, por outro lado, estes resultados podem ser apenas o resultado da variabilidade inerente a todo fluxo produtivo.

Tabela 18 – Comparação entre os resultados obtidos e os objetivos definidos (excluindo o *outlier*).

Indicador de desempenho	Pontas de Sucata	Nível Sigma
Objetivos	- 4,00 %	+ 5,00 %
Resultado	- 3,13 %	+ 7,27 %
Estado Final	4,03 %	1,77

5. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Em um ambiente industrial altamente competitivo, o controlo de custos é fundamental para qualquer organização. Um fator que desempenha um papel significativo no aumento dos custos é o desperdício industrial, o qual deve ser abordado com extrema relevância, procurando-se minimizar a sua ocorrência.

Nesse contexto, o Seis Sigma é uma abordagem direcionada e concentrada para atender à necessidade de eliminar ou minimizar o desperdício, baseando todas as tomadas de decisão em dados concretos e não em suposições. A implementação do Seis Sigma, estruturada de acordo com a metodologia DMAIC, proporcionou uma análise e estudo detalhado sobre as pontas de sucata produzidas no setor da estiragem.

Apesar dos desafios apresentados pela ampla variedade de produtos produzidos e pela elevada flexibilidade de produção presenciada durante o período de estágio, o trabalho desenvolvido proporcionou ao setor da estiragem uma nova visão do desperdício. A qual permitiu a identificação e quantificação das principais fontes de contribuição e resultando no desenvolvimento de diversas propostas de melhoria, as quais demonstraram contribuir de forma significativa para a redução do mesmo.

Com base em um teste piloto efetuado para avaliar o impacto de uma nova especificação no processo de estiragem, constatou-se uma contribuição positiva da melhoria proposta na redução de sucata, verificando-se uma diminuição de 15% na quantidade de sucata produzida pelo produto testado.

Em sentido contrário, um evento atípico ao setor, verificado no segundo trimestre do ano, teve impacto direto nos resultados do projeto desenvolvido. Atualmente, o valor da percentagem de sucata do setor aumentou cerca de 7% e o nível sigma do processo diminuiu de 1,65 para 1,42. Todavia, se for excluído o evento não planeado da equação, o indicador de sucata atual teria diminuído 3,13% e o nível sigma aumentado 7,27%, superando-se o objetivo previamente definido para o segundo indicador.

Os resultados obtidos não atingiram os objetivos do projeto definidos inicialmente. Contudo, através da implementação das propostas de melhoria que ficaram em fase de análise pela organização e das propostas de melhoria que ficaram em uma fase

prematura de implementação, existe grande probabilidade de os resultados melhorarem e de superarem os objetivos propostos.

Além disso, considerando a relevância do principal objetivo deste projeto e o impacto positivo que a redução do consumo de matéria-prima pode ter nos custos e na sustentabilidade do setor industrial, é recomendado o desenvolvimento de estudos futuros mais aprofundados nessa área.

Para finalizar, espera-se que a abordagem desenvolvida e as recomendações transmitidas no presente documento, possam ser aplicadas tanto na Bollinghaus Steel, como em outras empresas do setor, contribuindo para o aprimoramento de processos produtivos e para a procura contínua da excelência na produção eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldana, Tafur, & Guerra. (2017). *Revista ESPACIOS _ Vol* (pp. 1–15).
- Barroca, S. F., Abordagem, U. M. A., & Para, D. (2022). *Uma abordagem DMAIC para a redução de defeitos na fabricação de luvas: Caso de estudo*.
- Carreira, A. (2013). *Implementação de metodologias Lean na indústria de laminagem de aço*.
- Coelho, M. (2019). Otimização do processo de estiragem da linha CD2.
- Gonçalves, S. (2021). *Implementação da manutenção produtiva total no setor de estiragem de uma empresa de uma empresa de produção de perfis de aço inoxidável*.
- Daychoum, M. (2016). *Negociação: Conceitos e Técnicas*. eBook. Brasport. Brasil
- Harry, M., & Schroeder, R. (2000). *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations* by Mikl J Harry and Richard Schroeder. Soundview Executive Book Summaries, 22 (Part 2(11), 1–8.
- Instituto Kaizen (2012). *Manual Kaizen Diário*
- Jacinto, S. (2016). *Análise e redução de pontas de sucata no sector de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço*.
- Kumar, P., & Agnihotri, G. (2013). Cold Drawing Process-A Review. In *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* (Vol. 3). www.ijera.com
- Liker, J. K., & Meier, D. (2006). *Toyota Way Fieldbook, A Pratical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*.
- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. S. (2003). Six Sigma: A goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, 21(2), 193–203.
- Marques, P. A., Saraiva, P. M., Requeijo, J. G., & El-Haik, B. (2008). *Projectos para Seis Sigma - Um mapa para o desenvolvimento de produtos, serviços e processos*. Qualidade: Associação Portuguesa para a Qualidade, Vol. 37, pp. 12-19
- Ohno, T. (1988). *Taiichi Ohno (Author) - Toyota Production System-Beyond Large-Scale Production* (p. 168). *Productivity Press* (1988) -annotated.pdf.
- Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook - A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*. In Search.

- Rodrigues, M. (2012). Projecto Final Mestrado em Engenharia de Produção. Aplicabilidade das cartas de controlo ao processo produtivo dos farolins. Samohyl, R.W. Controle Estatístico da Qualidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- Selvi, K., & Majumdar, R. (2014). *Six Sigma- Overview of DMAIC and DMADV*. 5, 16–19.
- Shankar, R. (2009). *Process improvement using Six Sigma: a DMAIC guide*.
- Shingo, S. (1989). *A Study of the Toyota Production System*.
- Smętkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case Study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 238, 590–596.
- Teixeira, P. F. C. (2014). *Análise e otimização dos fluxos e processos do setor de desempenho numa empresa de produção de perfis de aço*.
- Tseng, C. C., Chiou, K. C., & Chen, K. S. (2022). Estimation of the Six Sigma Quality Index. *Mathematics*, 10(19), 1–14.
- Zhang, H. (2011). *Building Materials in Civil Engineering*. Elsevier Science & Technology. Cambridge

ANEXO A – RELATÓRIO DE AUDITORIA 5S



Check List - 5'S

Área: Fresas e Ponteadora 1 e 2

Auditor: Ana Calano

Data: 26/04/2023



1S	ELIMINAR	Peso	Pontuação				
			N/A	0	1	2	3
1	Existem somente materiais/ferramentas ou objetos necessários no local de trabalho?	2,5%					X
2	O chão está desimpedido (sem ferramentas, peças sobressalentes ou materiais) deixados no chão?	5,0%				X	
3	Os painéis de comunicação só têm documentos ou registos úteis e actualizados?	2,5%					X
4	Todos os materiais/ferramentas e equipamentos estão em bom estado de utilização?	1,5%					X
5	Existem fugas de água ou ar?	1,0%				X	
							12,6

2S	ORDENAR	Peso	Pontuação				
			N/A	0	1	2	3
1	Os instrumentos/ferramentas encontram-se organizados e identificados?	5,0%				X	
2	Todos os recipientes, paletes, madeiras estão arrumados de forma adequada?	5,0%					X
3	As prateleiras/contentores e áreas de armazenamento estão devidamente identificadas?	2,5%					X
4	O chão está livre de fios e cablagens?	2,5%					X
5	Todas as tubagens encontra-se identificadas?	1,0%					X
6	Existe iluminação/máquinas ligadas sem operadores?	1,5%					X
							19

3S	LIMPAR	Peso	Pontuação				
			N/A	0	1	2	3
1	O chão está limpo (sem manchas de óleo, água, sujidade e desperdícios)?	5,0%					X
2	As máquinas encontram-se limpas e sem vestígios de corrosão? Sem manchas de óleo, pó e outros resíduos?	5,0%					X
3	As janelas encontram-se limpas e sem estarem partidas?	2,5%					X
4	As zonas de difícil acesso são conhecidas e encontram-se limpas?	5,0%					X
5	Os resíduos encontram-se devidamente separados? †	7,5%					X
6	O pavimento e tecto estão livres de fissuras?	2,5%				X	
7	As paredes e o tecto encontram-se limpos?	2,5%					X
							35

4S	SISTEMATIZAÇÃO	Peso	Pontuação				
			N/A	0	1	2	3
1	Os operadores têm todas as ferramentas que necessitam?	4,0%					X
2	As instruções de trabalho estão disponíveis, são claras e estão actualizadas?	3,5%					X
3	As ideias de melhoria tem vindo a ser implementadas?	5,0%					X
							15

5S	RIGOR E RESPEITO	Peso	Pontuação				
			N/A	0	1	2	3
1	Houve melhoria dos pontos mais fracos da última auditoria?	4,0%					X
2	As auditorias 5S's da área tem sido realizada de forma regular (uma vez por mês)?	2,5%					X
3	No geral, o setor passa uma imagem 5S?	3,5%					X
							12

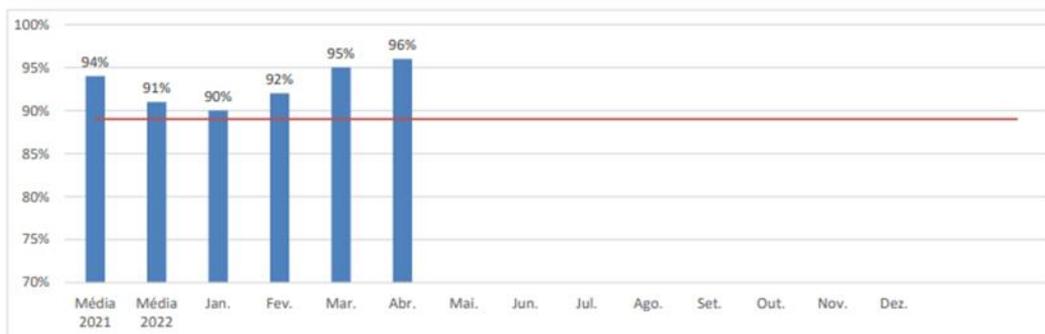
6S	SEGURANÇA E SAÚDE	Peso	Pontuação				
			N/A	0	1	2	3
1	As vias de circulação e emergência encontram-se claramente definidas e desimpedidas?	5,0%					X
2	Os acessos a extintores de incêndio, quadros eléctricos, botoneiras de alarme e saídas de emergência, estão desimpedidos?	5,0%					X
3	A iluminação na estação de trabalho é suficiente?	2,5%					X
4	Os EPI's obrigatórios para a área encontram-se identificados? Estão a ser utilizados pelos operadores?	5,0%					X
							21

Pontuação Total Obtida **96%**

Ações Abertas

Nº	Não-conformidade	Contra-medida	Responsável	Início	Fim
1	Disponibilizar IT's	Disponibilizar	M. Moderno	28/jan/22	
2	Reparação da porta de saída de emergência	Reparar	J. Nabeiro	26/set/22	
3	Reparar fissura no chão junto à ponteadora 1	Reparar	J. Nabeiro	23/dez/22	
4	Reparar fuga de ar na bancada da ponteadora Bock	Reparar	J. Nabeiro	31/jan/23	
5	Instalar estação limpeza junto Fresa 3	Sistematização	J. Garcia	24/fev/23	
6	Organizar bancada de trabalho EJP	Eliminar	P. Paskar	24/fev/23	26/abr/23

Evolução Mensal Área



Área VS Restantes Áreas

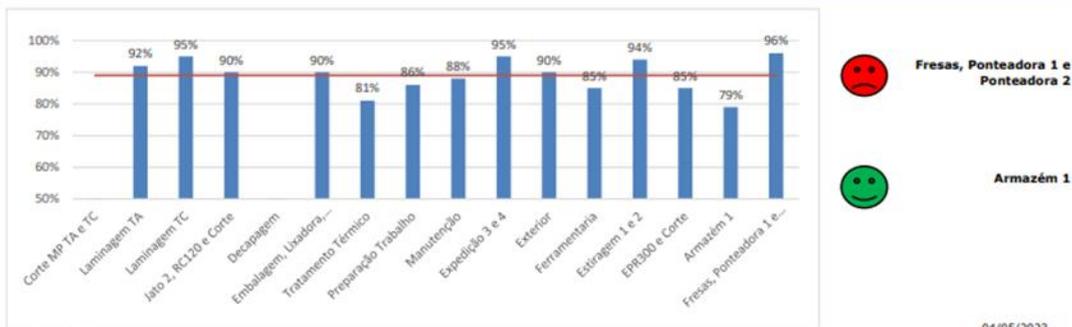


Figura A.1 – Relatório de auditoria 5S.

APÊNDICE A – PLANEAMENTO DO PROJETO DE MELHORIA

		Fevereiro		Março					Abril				Maio				Mês	
TAREFAS		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Semana
Formação Inicial		■	■															
FASE DEFINIÇÃO	Definição do tema	■																
	Definição da equipa		■	■														
	Definição do plano		■	■														
	Descrição do processo atual		■	■	■													
	Descrição do problema			■	■	■												
	Definição de objetivos			■	■	■												
	SIPOC				■	■												
Projetc Charter					■													
FASE MEDIÇÃO	Definir indicadores chave				■													
	Analisar histórico					■												
	Selecionar e descrever o sistema de recolha de dados					■	■											
	Medição					■	■	■										
	Cálculo do DPMO								■									
	Cálculo do nível sigma								■									
FASE ANÁLISE	Análise do processo								■									
	Análise da variabilidade do comprimento das pontas de sucata								■	■								
	Diagrama Causa-Efeito									■	■							
	5 Porquês										■	■						
	Identificação das potenciais causas											■	■					
FASE MELHORIA	Brainstorming												■	■				
	5S													■	■			
	Selecionar as melhores soluções														■	■		
	Avaliação de riscos															■	■	
	Implementação																■	■
FASE CONTROLO	Definir sistemas de controlo																■	■
	Recalcular o nível Sigma																■	■
	Quantificar melhoria																	■

Figura B.1 – Cronograma de implementação do projeto de melhoria.

1. Informação Geral do Projeto				
Nome do projeto:	Análise e Redução do desperdício pontas de sucata no setor da Estiragem			
Colaborador responsável:	João Pedro Henriques Ferreira			
Departamento:	Produção			
Subprocesso:	Estiragem			
2. Equipa do projeto				
	Nome	Departamento	Telefone	E-mail
Diretor de Operações	Nuno Parreira	Produção		nmparreira@bollinghaus.pt
Supervisor Eng. de Processo	Nélio Mourato	Produção		nmourato@bollinghaus.pt
Estagiário	João Ferreira	Produção		jpferreira@bollinghaus.pt
Eng. de Processo Estiragem	Miguel Coelho	Produção		mcoelho@bollinghaus.pt
Supervisor Estiragem	Petro Paskar	Produção		ppaskar@bollinghaus.pt
Colaboradores do setor	-	Produção		-
3. Stakeholders				
Empresa - Aumento da eficiência do processo; Redução do desperdício; Aumento das receitas.				
Colaboradores - Menos variabilidade no trabalho; Standardização de processos.				
4. Project Scope				
Propósito do projeto / Justificação Empresarial				
Reduzir o desperdício pontas de sucata produzida no setor, uma vez que o desperdício gera desvantagens financeiras para a empresa.				
Objetivos (ao nível da empresa)				
Reduzir 4% o desperdício pontas de sucata no setor da Estiragem até 30 de junho de 2023, relativamente ao valor médio de desperdício de pontas registado no ano de 2022.				
Reduzir 5% a variabilidade do comprimento de pontas de sucata até 30 de junho de 2023.				
Documentos a entregar				
Apresentação mensal de cada fase do ciclo DMAIC; Relatório de Estágio; Apresentação Final; Excel suplementar com Estatística Descritiva.				
Âmbito				
Pretende-se estudar os processos do setor de estiragem, nomeadamente as duas linhas CD1 e CD2, e os processos de apoio à estiragem.				

Project Milestones																			
Início projeto - 14/02/2023																			
Fim do projeto - 14/07/2023																			
Maiores riscos conhecidos																			
Risco										Probabilidade do risco (Alta, Média, Baixa)									
Paragem de produção no setor										Baixa									
Variabilidade no comprimento de pontas afetado por processos a montante do setor de Estiragem										Alta									
Restrições																			
Tempo – 5 meses, 5 dias por semana, 8 horas por dia;																			
5. Estratégia de comunicação																			
Desenvolvimento de reuniões entre equipa;																			
Apresentações para órgãos superiores da empresa;																			
6. Planeamento																			
Data de início:					14-02-2023					Data de conclusão:					16-06-2023				
Fase DMAIC	Início	Conclusão	Semanas																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Definir	14/02	10/03	X	X	X	X													
Medir	13/03	07/04					X	X	X	X									
Analisar	03/04	05/05								X	X	X	X	X					
Melhorar	01/05	19/05												X	X	X			
Controlar	22/05	02/06															X	X	
Relatório Final	14/02	16/06	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7. Aprovação																			
					Nome					Assinatura					Data (dia/mês/ano)				
Responsável executivo																			
Responsável departamento																			
Gestor Projeto																			
8. Notas																			

Figura B.2 – Project Charter

APÊNDICE B – PROCESSOS DO SETOR DA ESTIRAGEM

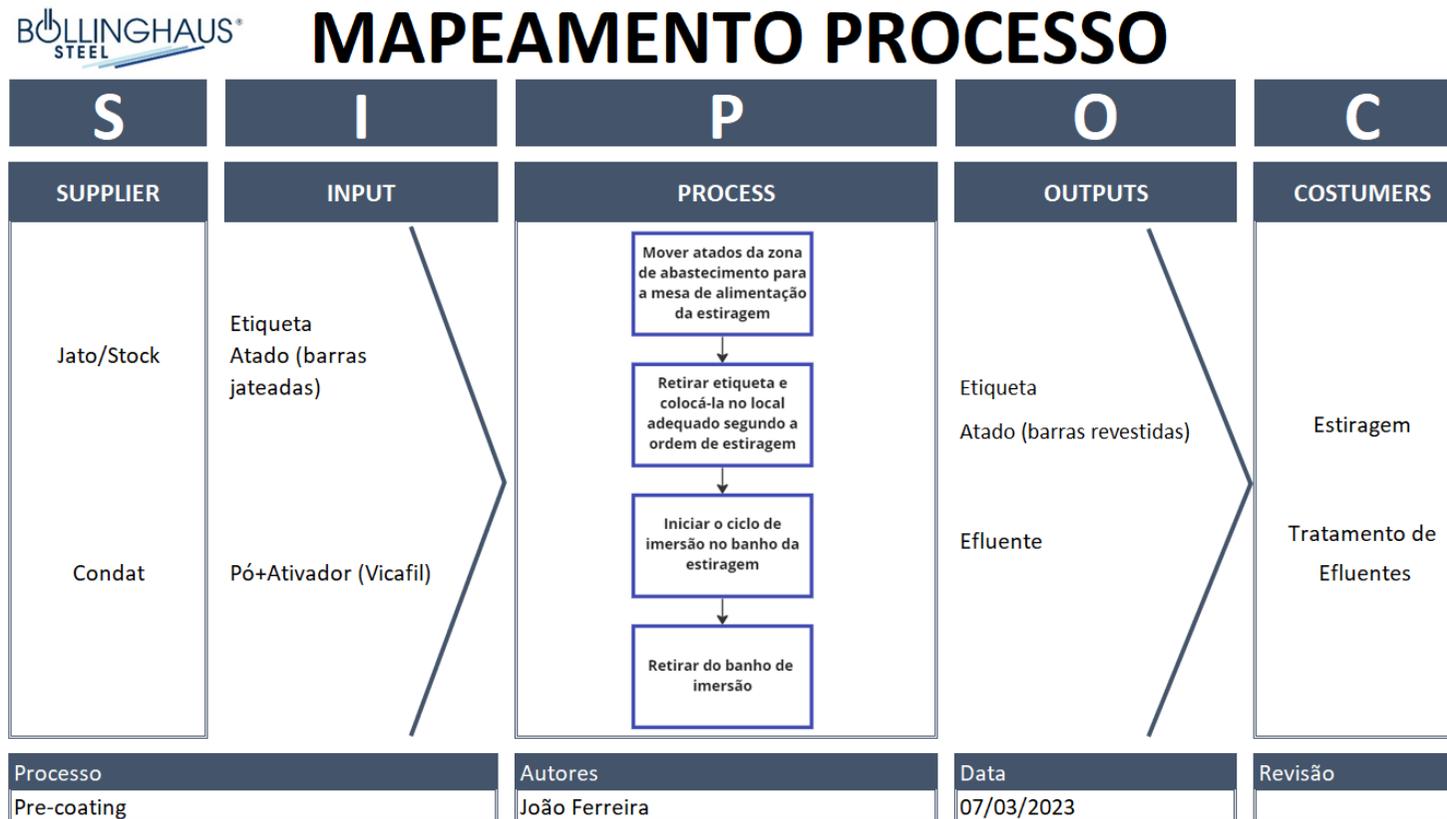


Figura B.3 – Diagrama SIPOC do processo de *Pré-Coating* no setor da Estiragem.



MAPEAMENTO PROCESSO

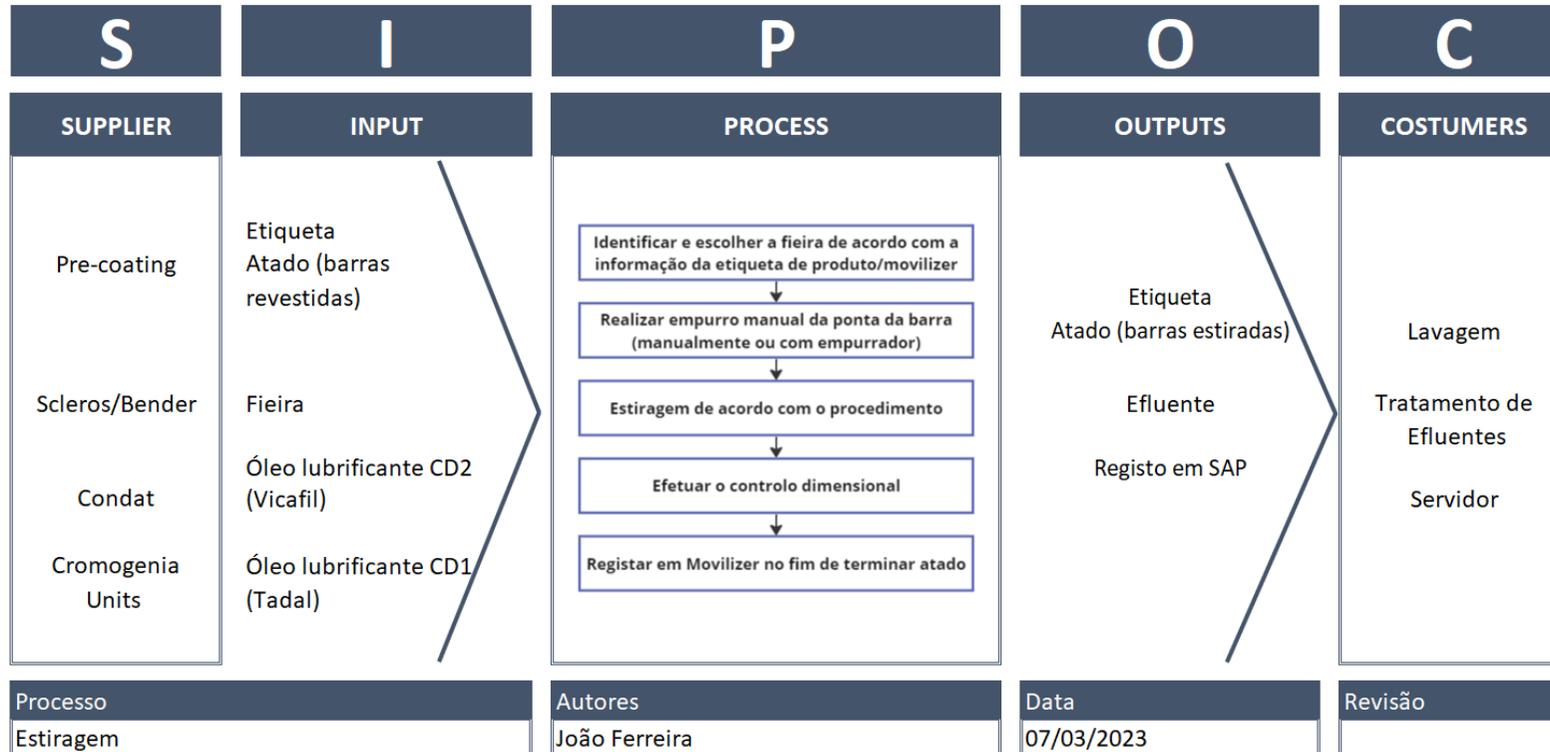


Figura B.4 - Diagrama SIPOC do processo de Estiragem no setor da Estiragem.



MAPEAMENTO PROCESSO

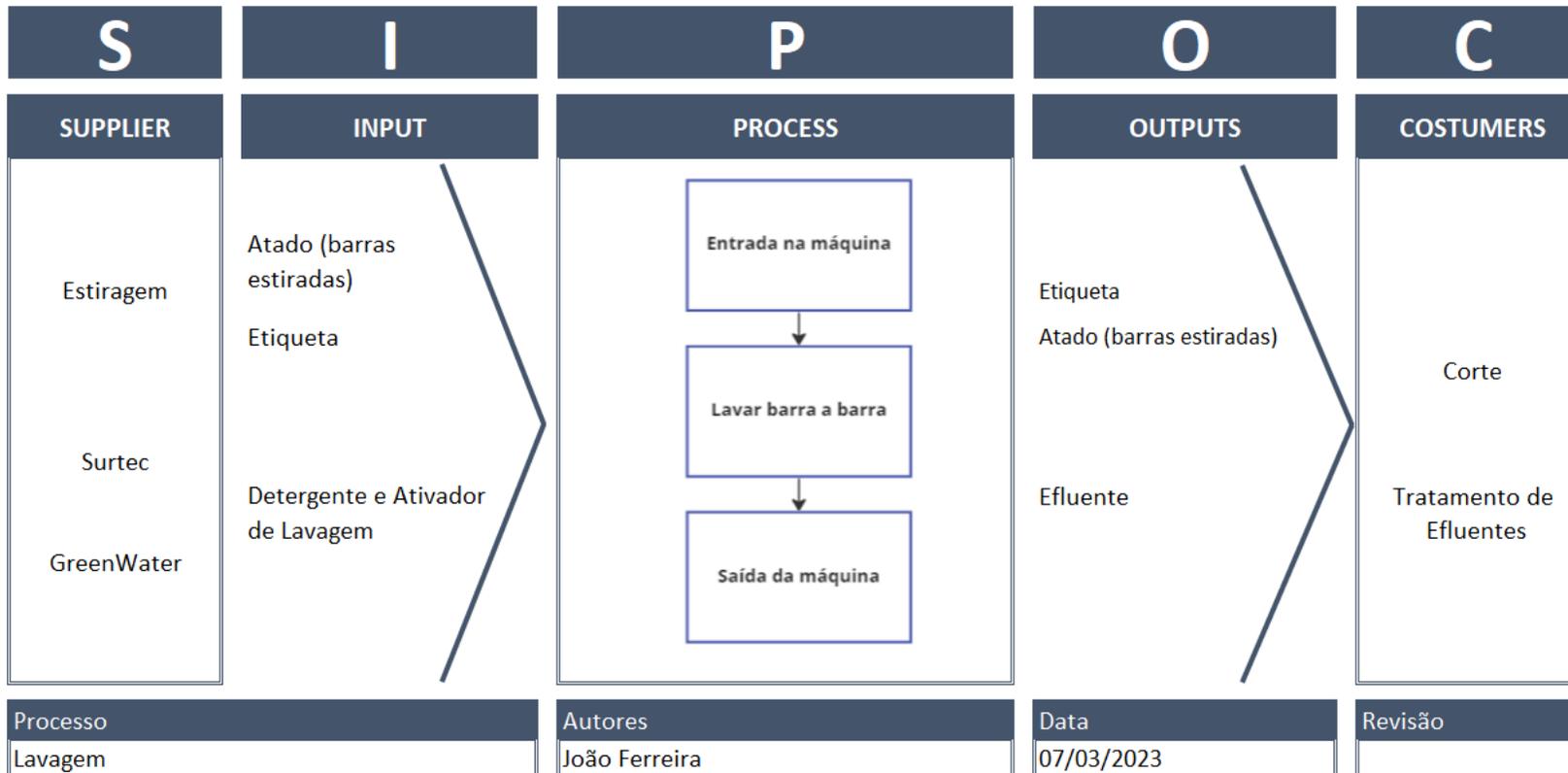


Figura B.1 - Diagrama SIPOC do processo de Lavagem no setor da Estiragem.



MAPEAMENTO PROCESSO

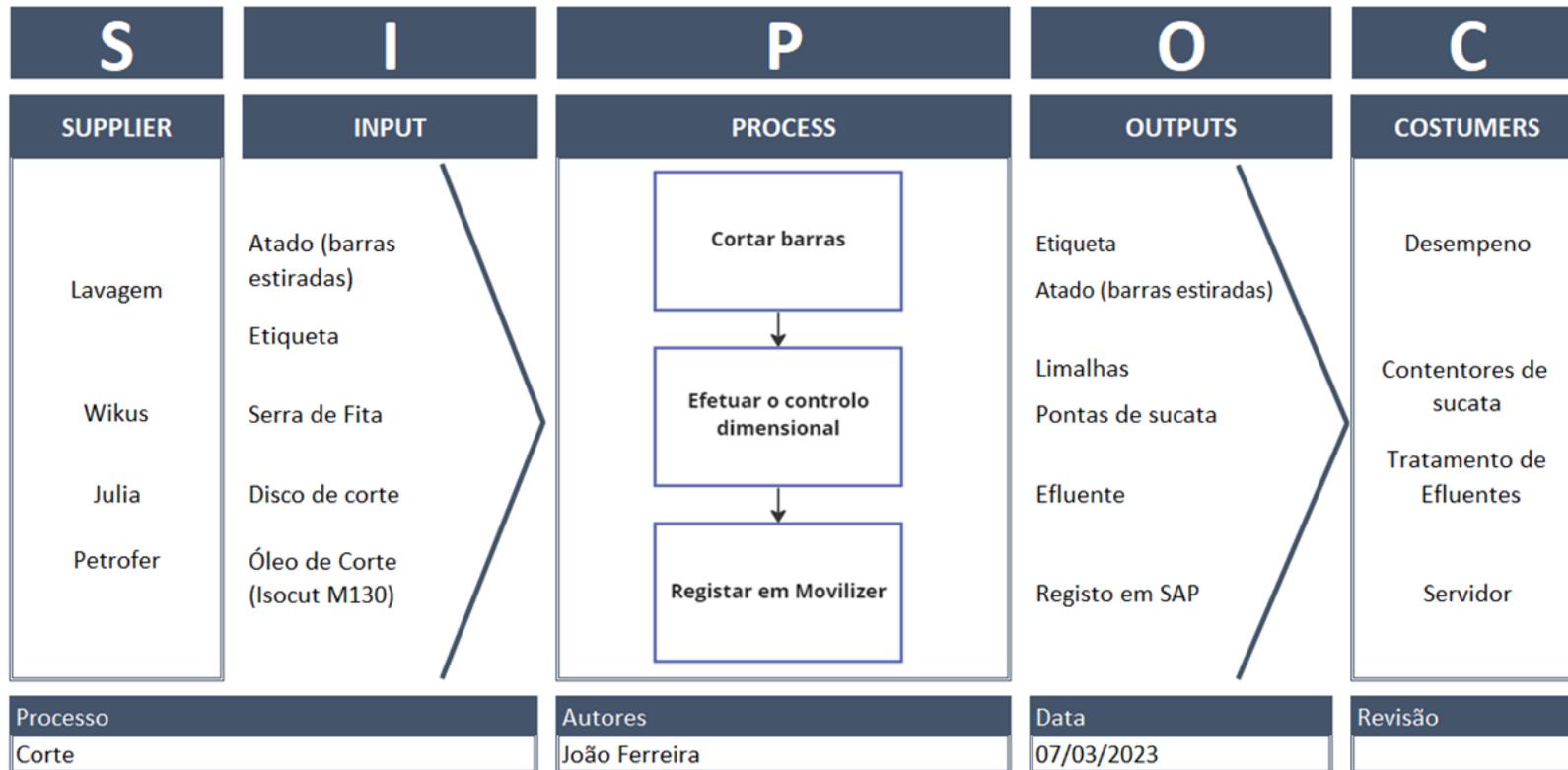


Figura B.6 - Diagrama SIPOC do processo de Corte no setor da Estiragem.

APÊNDICE C – RESULTADOS DA ANÁLISE DOS DADOS DE 2020, 2021 E 2022

Tabela 19 – Resultado da análise de histórico global de produção (2020 - 2022).

	% Pontas de Sucata global	Qtd. Produzida (Kg)	Qtd. Desperdício (Kg)	Nº Atados	Média % Pontas Sucata por atado	Nº Artigos	Média % Pontas Sucata	Desvio padrão	CV (Artigo)
Global 2020 - 2022	4,13%	18768945	774909	21 736	4,34%	1527	4,46%	3,00%	67%

Tabela 20 – Resultado da análise de histórico das linhas de estiragem do setor (2020 - 2022).

Linha de Estiragem	% Pontas de Sucata	% Pontas de Sucata ponderada	Qtd. Produzida (Kg)	Qtd. Desperdício (Kg)	Qtd. Desperdício total %	Nº Atados	Média % Pontas Sucata por atado	Nº Artigos	Média % Pontas Sucata	Desvio padrão	CV (Artigo)
CD 1	5,04%	2,09%	6376120	321213	41%	7976	5,13%	518	5,49%	4,32%	78,75%
CD 2	3,66%	2,14%	12392824	453696	59%	13760	3,89%	1009	3,93%	1,80%	45,81%

APÊNDICES

Tabela 21 – Resultado da análise de histórico dos tipos de corte utilizados no setor (2020 - 2022).

Tipo de Corte	% Pontas de Sucata	% Pontas de Sucata ponderada	Qtd. Produzida (Kg)	Qtd. Desperdício (Kg)	Qtd. Desperdício total %	Nº Atados	Média % Pontas Sucata por atado	Nº Artigos	Média % Pontas Sucata	Desvio padrão	CV (Artigo)
DISCO	4,22%	3,42%	14914439	629067	81%	17337	4,44%	976	4,67%	3,44%	73,60%
FITA	3,78%	0,71%	3854506	145842	19%	4359	3,98%	551	4,08%	1,96%	48,07%

Tabela 22 – Resultado da análise de histórico dos tipos de perfis produzidos no setor (2020 - 2022).

Tipo de Perfil	% Pontas de Sucata	% Pontas de Sucata ponderada	Qtd. Produzida (Kg)	Qtd. Desperdício (Kg)	Qtd. Desperdício total %	Nº Atados	Média % Pontas Sucata por atado	Nº Artigos	Média % Pontas Sucata	Desvio padrão	CV (Artigo)
1 - Retangular	4,32%	1,61%	6664001	288157	37%	8386	4,56%	678	4,48%	2,70%	60,22%
2 - Especial	7,94%	0,30%	371084	29457	4%	391	8,54%	56	7,66%	6,66%	86,87%
4 - Quadrado	3,65%	1,14%	6635589	242458	31%	7268	3,64%	248	4,14%	3,47%	83,86%
6- Hexagonal	4,21%	1,17%	5098271	214837	28%	5691	4,38%	545	4,25%	2,27%	53,39%

Tabela 23 – Resultado da análise de histórico das qualidades de matéria-prima utilizadas no setor (2020 - 2022).

Qualidade	% Pontas de Sucata	% Pontas de Sucata ponderada	Qtd. Produzida (Kg)	Qtd. Desperdício (Kg)	Qtd. Desperdício total %	Nº Atados	Média % Pontas Sucata por atado	Nº Artigos	Média % Pontas Sucata	Desvio padrão	CV (Artigo)
EN1.4305	3,95%	1,03%	5136294	202852	26%	6083	4,15%	358	4,26%	2,26%	53,15%
EN1.4307	4,08%	1,63%	7609180	310291	40%	9138	4,34%	391	4,61%	3,64%	78,97%
EN1.4404	4,29%	0,91%	3814175	163583	21%	4094	4,50%	436	4,30%	2,42%	56,27%
Outras	4,44%	0,56%	2209296	98183	13%	2421	4,60%	342	4,70%	3,50%	74,47%

APÊNDICES

Tabela 24 – Resultado da análise de histórico das especificações de limites de corte utilizadas no setor (2020 - 2022).

LSC (mm)	Tolerância (mm)	% Pontas de Sucata	% Pontas de Sucata ponderada	Qtd. Produzida (Kg)	Qtd. Desperdício (Kg)	Qtd. Desperdício total %	Nº Atados	Média % Pontas Sucata por atado	Desvio padrão por atado	CV (Atado)
3 200	200	3,99%	2,11%	10231608	408593	53%	12303	4,04%	2,25%	55,69%
3 963	610	3,72%	0,67%	3741884	139144	18%	4116	3,75%	2,02%	53,87%
4 100	100	5,22%	0,20%	577616	30157	4%	612	4,96%	2,79%	56,25%
4 050	50	4,88%	0,19%	627046	30625	4%	554	4,69%	2,94%	62,69%
Outros	-	4,63%	0,99%	3590791	166390	21%	4151	4,42%	2,81%	63,57%

APÊNDICE D – FICHA DE REGISTO DE MEDIÇÕES

Nº		BOLLINGHAUS STEEL	Data: __/__/__
----	--	-----------------------------	----------------

PERFIL	OPERAÇÃO		ATADO	
Dimensão	CD		Atado	
Qualidade	Equipamento		Nº Barras	
Material	Turno		Peso (Kg)	Inicial
	Operador			Final

Limite comprimento (mm)	Inferior	
	Superior	

Amostra	1ª Ponta (mm)			2ª Ponta (mm)		Barra (mm)	
	Total	Fresado	Boa	Total	defeito	Total 1	Total 2
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							

Observações:

Figura B.7 – Ficha de registo.

APÊNDICE E – EXEMPLO DE AMOSTRA RECOLHIDA

Limite comprimento (mm)	Inferior	3000
	Superior	3200

Amostra	1ª Ponta (mm)			2ª Ponta (mm)		Barra (mm)	
	Total	Fresado	Boa	Total	defeito	Total 1	Total 2
1	275	165	110	264	3	3183	3180
2	285	145	140	257	4	3182	3183
3	283	167	116	295	4	3185	3183
4	220	142	78	320	3	3187	3188
5	221	158	63	292	3	3181	3189
6	213	164	49	294	3	3187	3186
7	267	140	127	291	4	3177	3184
8	270	140	130	257	3	3179	3196
9	264	140	124	248	3	3179	3190
10	279	180	99	258	3	3181	3192
11	277	165	112	280	3	3181	3191
12	277	167	110	264	3	3182	3188
13	270	172	98	321	4	3185	3187
14	207	145	62	325	3	3188	3188
15	210	136	74	327	3	3186	3192
16	275	154	121	281	3	3182	3171
17	278	155	123	280	3	3182	3171
18	278	147	131	302	3	3185	3171
19	253	152	101	329	3	3159	3175
20	256	151	105	313	3	3154	3176
21	256	156	100	326	3	3155	3175
22	231	135	96	308	4	3190	3187
23	225	166	59	307	3	3192	3184
24	230	160	70	305	4	3192	3185
25	247	155	92	300	3	3182	3184
26	243	177	66	290	3	3182	3186
27	252	158	94	270	4	3182	3186
28	180	165	15	355	3	3185	3187
29	180	175	5	356	3	3184	3188
30	180	162	18	371	3	3185	3188

Observações: Nada a observar.

Figura B.8 – Amostra referente a um atado do perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200.

APÊNDICE F – RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DA MEDIÇÃO EFETUADA

Tabela 25 – Resultados estatísticos das amostras recolhidas.

Variável	População		Tamanho da amostra (n)	Média (mm)	Desvio-padrão (mm)	Mín (mm)	Máx (mm)	CV (%)	P-valor (Shapiro-Wilk)
Ponta de Sucata (total)	Toda a produção		721	392	170	151	1368	43%	2,2E-16
PD1	Perfis não fresados		243	149	13	129	178	9%	2,30E-07
	Perfis fresados	Ret. 41 x 11 LSC 3200	120	150	13	125	180	9%	0,19
		Ret. 40,8 x 8,7 LSC 3200	150	183	10	156	200	5%	6,30E-09
PD2	Perfis com pontas cortadas em laminagem	Serrote	321	5	2	2	13	40%	2,20E-16
		Traça	334	19	2	14	24	11%	2,10E-08
MOC	Produzidos em CD 1		439	33	33	0	210	100%	2,20E-16
	Produzidos em CD 2		282	45	44	0	220	98%	2,60E-15
MOP	Ret. 41 x 11 LSC 3200		120	365	51	232	491	14%	0,03
	Hex 28,5 LSC 3200		96	94	281	0	1282	299%	2,20E-16
	Hex 28,5 LSC 4100		112	297	117	163	884	39%	6,10E-11

APÊNDICE G – ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA INFLUÊNCIA DO OPERADOR EM MOC

O operador é um dos fatores que mais impacto tem no comprimento e na variabilidade do comprimento de MOC. Este comprimento está sempre suscetível ao erro humano, quer seja provocado pela fadiga, pela falta de atenção, pela falta de formação ou por outro qualquer motivo que o leva à falha na execução.

Entendeu-se pertinente avaliar individualmente cada operador, de modo a investigar se existia algum que se destacasse negativamente em relação aos restantes. Em caso de destaque, desenvolver-se-ia uma ação corretiva de modo a sensibilizar o operador, dada a evidência de que o trabalho poderia ser realizado de forma melhorada.

Analisaram-se individualmente quatro operadores, os operadores A e B são operadores responsáveis pelo processo de corte na CD 2 e os operadores C e D são os operadores responsáveis pelo processo de corte na CD 1. Os resultados obtidos na análise do MOC produzido por cada operador estão demonstrados na Tabela 26.

Tabela 26 – Média do MOC dos operadores.

Operador	A	B	C	D
Média	47,05	32,81	32,25	33,94
Desvio-padrão	43,80	47,78	37,23	31,87

O operador A é o operador que apresentou a média de MOC mais alta. O operador A, quando comparado com o operador da mesma linha, apresentou cerca de 14 mm a mais de MOC, valor consideravelmente alto. No entanto, entendeu-se que o tamanho da amostra recolhida para o operador B não era significativo e, por isso, o resultado é pouco representativo. Entendeu-se também que é normal o MOC na CD 2 ser superior ao MOC na CD1 visto que, embora mais rudimentar na primeira linha, o processo de corte em CD 2 caracteriza-se por apresentar margem de erro considerável no processo de medição e incerteza

significativa no posicionamento da barra no corte, por parte do operador. Esses fatores culminam em tomadas de decisão mais cautelosas, garantindo que o corte esteja dentro dos limites especificados, conduzindo para registos de MOC maiores.

Quanto aos operadores do corte na primeira linha de estiragem, estes apresentaram, em média, um MOC bastante semelhante, de acordo com o intervalo de confiança obtido para a média de MOC desta linha. Todos os operadores apresentaram um coeficiente de variação superior a 80%, apontando para a variabilidade intrínseca do processo.

Apesar da pouca representatividade observada no caso da CD 2, a análise realizada revelou que a redução da variabilidade no comprimento MOC não seria apoiada por uma possível substituição dos operadores responsáveis pelo corte, mas sim por modificações no próprio processo em si.

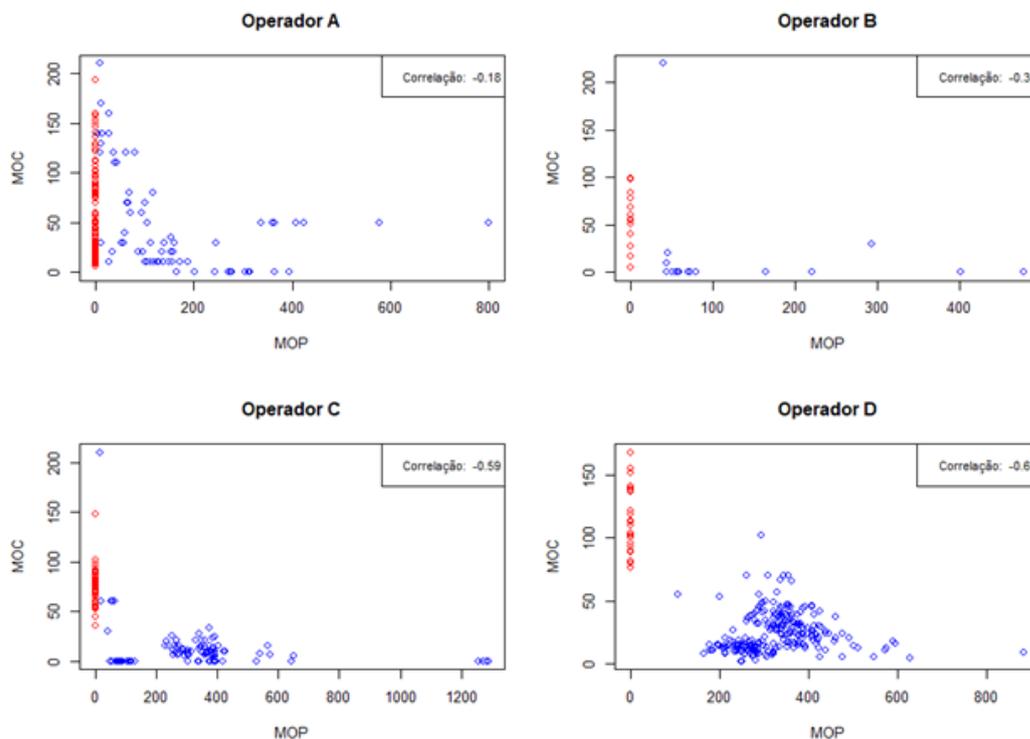


Figura B.9 – Análise da influência de MOP no MOC de cada operador.

Ao longo do processo de medição, detetou-se que quando as barras estiradas chegavam ao processo de corte com comprimento insuficiente para serem cortadas segundo o LSC, as pontas continuavam a apresentar comprimento isento de defeito considerável. Nesse sentido, explorou-se os dados recolhidos com o objetivo de verificar a existência de

alguma dependência da variável MOC em relação à variável MOP e, dessa forma, identificar a veracidade da tendência observada. Tendo em conta que o MOC está diretamente ligado ao operador, a análise foi conduzida com base nos resultados de cada operador individualmente.

Os resultados da análise, apresentados na Figura B.9, indicam que os operadores C e D, ambos operadores de corte na CD1, apresentam uma correlação negativa considerável, demonstrando que existe tendência dos operadores desta linha em aumentar a variável MOC quando a variável MOP é mais reduzida. Este resultado alerta para a dificuldade do operador em reconhecer o alongamento total do defeito e, dessa forma, executar margens de segurança para que não seja enviado, para o cliente, barras com presença de defeito. Esta conclusão é ainda mais evidente nas pontas cujo MOP observado obteve o valor de zero, de acordo com os pontos assinalados a vermelho na figura, visto que a variável MOC nestas situações atingiu valores bastante elevados.

Por outro lado, o MOC correspondente aos operadores da outra linha de estiragem não apresentou correlação significativa com o MOP. Este facto pode ser explicado por nesta linha de estiragem, o corte da primeira ponta, isto é, o corte da ponta que apresenta o comprimento de defeito maior, ser realizado de forma automatizada e sem exigir grande dependência do operador, onde este só tem influência no ajuste inicial do batente, realizado no momento de entrada da primeira barra do atado. Contudo, existe também evidência de que para valores de MOP iguais a zero, o MOC tende a ter valores superiores. Esta evidência deve-se a duas razões: a primeira razão diz respeito à margem de segurança aplicada no batente de corte da primeira ponta, a qual apenas passa a ser considerada MOC se não for possível realizar o corte da barra de acordo com o LSC; a segunda razão está de acordo com o mencionado para a primeira linha de estiragem, dado que no corte da segunda ponta já existe maior dependência do fator humano e da capacidade de identificação do alongamento do defeito.

Estes resultados alertam uma vez mais para a necessidade de standardizar o comprimento dos defeitos provocados e, por outro lado, para o impacto do fator humano na variável MOC.

APÊNDICE H – ANÁLISE “5 PORQUÊS” PARA IDENTIFICAÇÃO DE CAUSAS RAIZ

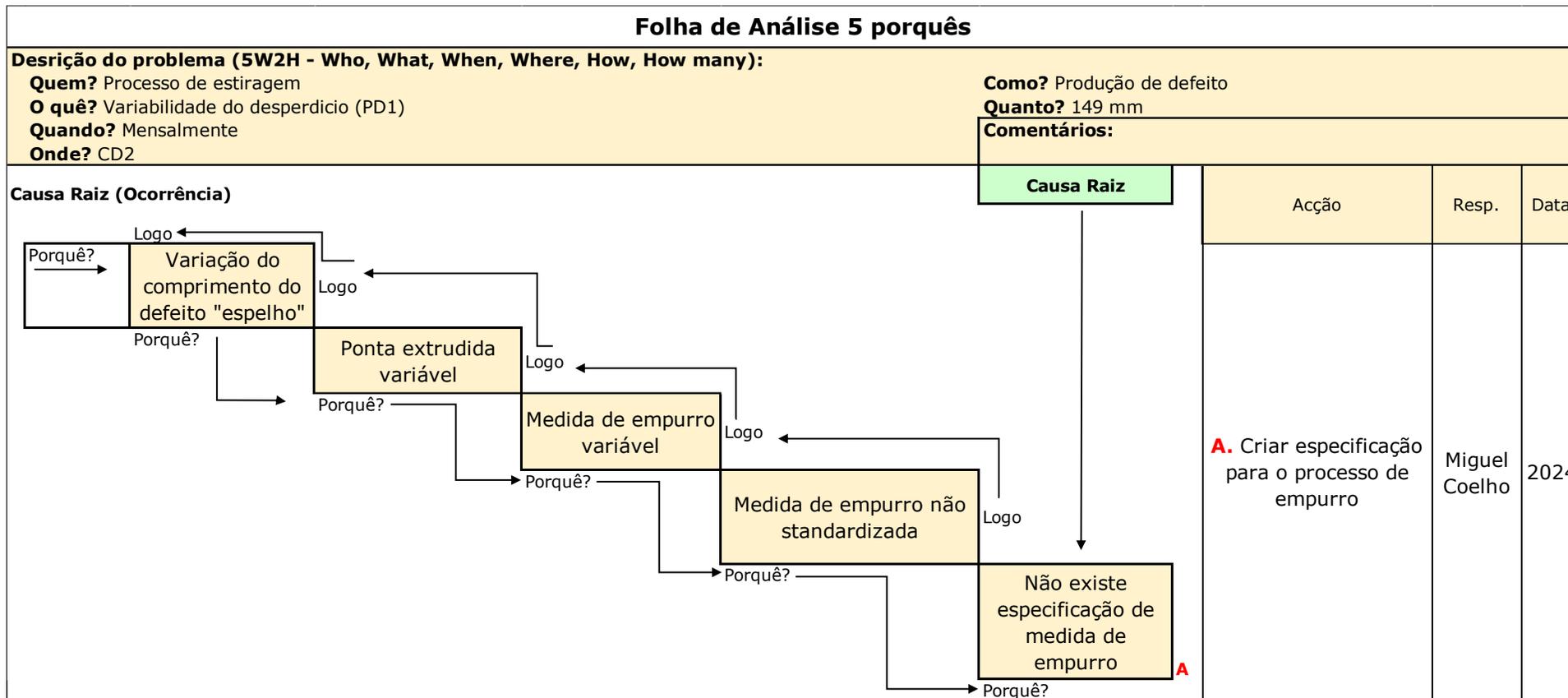


Figura B.10 – Análise "5 Porquês" da variabilidade observada em PD1 de perfis não fresados.

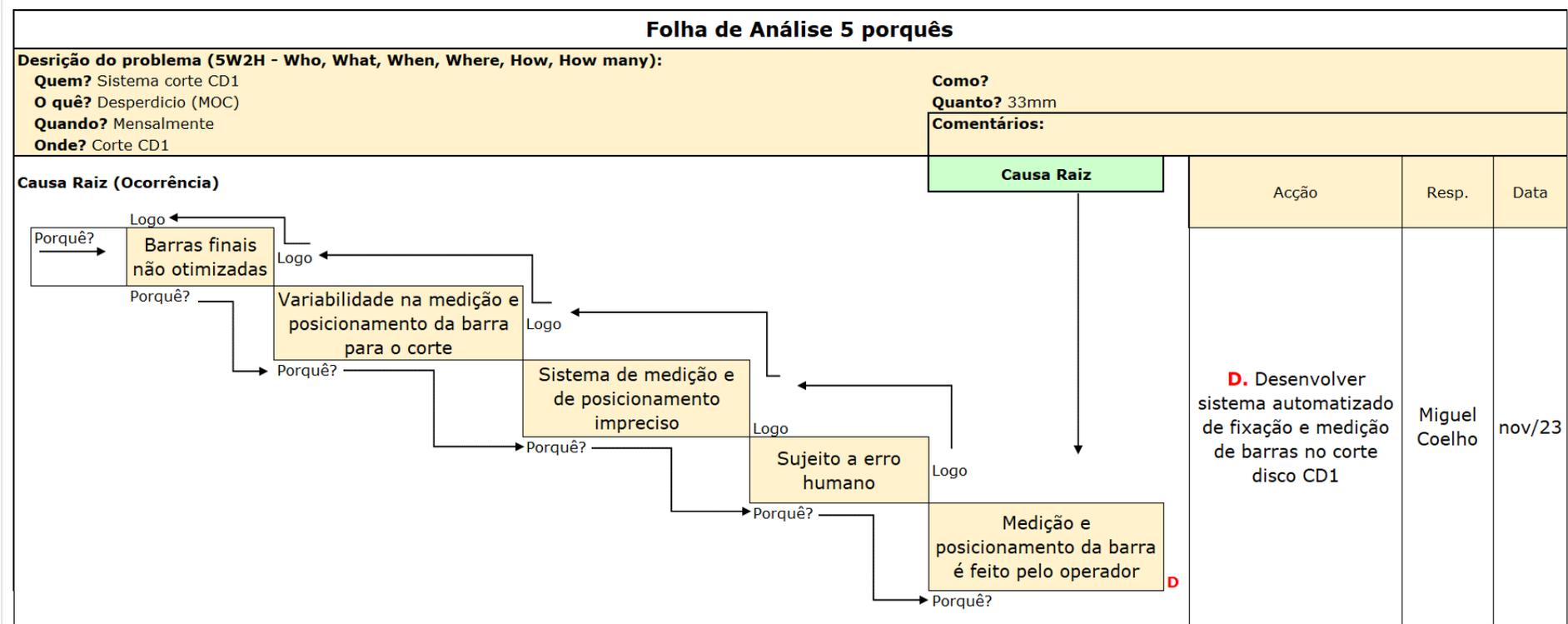


Figura B.12 – Análise "5 Porquês" da variabilidade observada em MOC de perfis produzidos em CD 1.

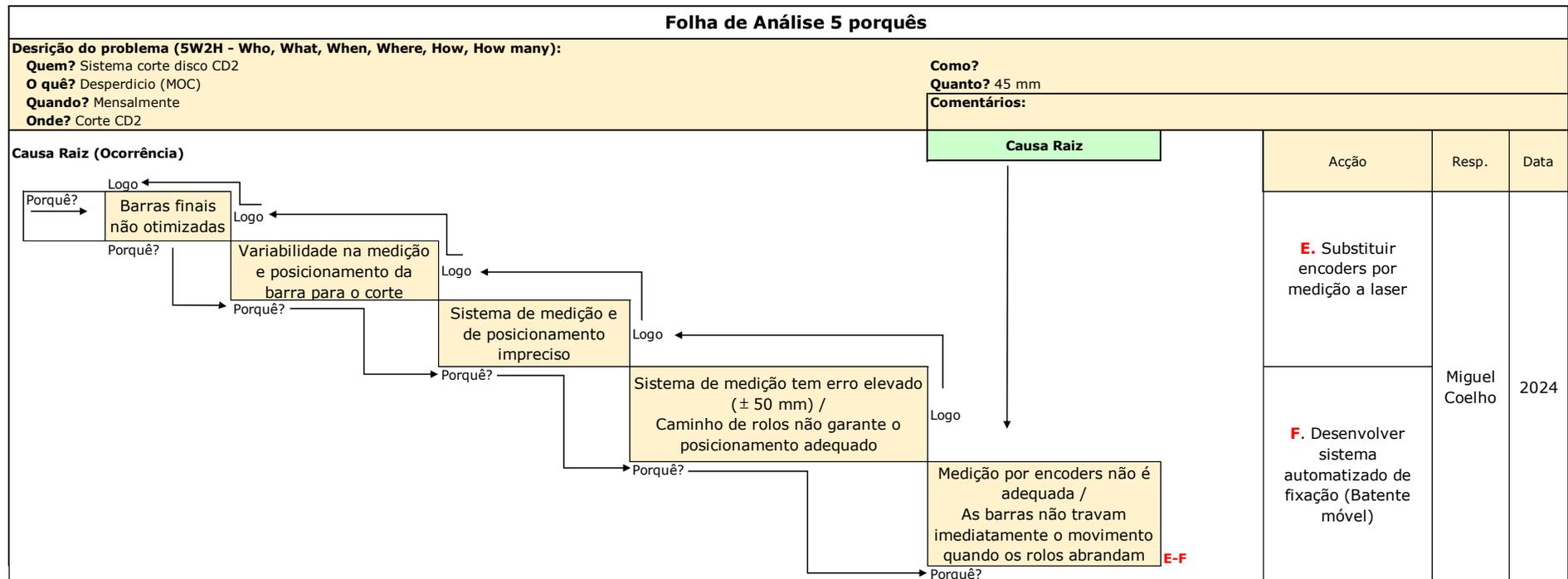


Figura B.13 – Análise "5 Porquês" da variabilidade observada em MOC de perfis produzidos em CD 2.

APÊNDICE I – DESENVOLVIMENTO DA MATRIZ CUSTO VS. BENEFÍCIO

Tabela 27 – Definição dos níveis de custo e benefício para a construção da matriz.

Custo		Benefício	
Nível	< custo (€)	Nível	< red. (mm)
1	8000	1	5
2	16000	2	10
3	24000	3	15
4	32000	4	20
5	40000	5	25
6	48000	6	30
7	56000	7	35
8	64000	8	40
9	72000	9	45
10	80000	10	50
11	88000	11	55
12	96000	12	60

Em conjunto com a equipa de engenharia, estimou-se o conjunto de custos de implementação das melhorias mais votadas nas sessões de *Brainstorming*, assim como o benefício expectável de cada melhoria na redução de ponta de sucata, tendo por base os valores médios obtidos através dos dados recolhidos na fase de medição. Para efeitos da redução de ponta, atribuiu-se uma margem de segurança, visto que apesar de se prever a sua diminuição, a variabilidade continuará inerente a todos os processos do fluxo produtivo. O resultado das estimativas realizadas, assim como a definição do nível de benefício e do nível de custo estão apresentados na Tabela 28. Quanto à matriz custo vs. benefício desenvolvida, esta pode ser observada na secção 4.4.1.1.

Tabela 28 – Cálculo dos custos e benefícios das quatro ideias de melhoria mais votadas nas sessões de *Brainstorming*.

Proposta	Custo				Benefício	
	Custo de aquisição (€)	Tempo de esforço (meses)	Custo total (€)	Nível	Redução por ponta (mm)	Nível
1	75000	4	85000	11	31	7
2	-	18	45000	6	56	12
3	-	2	5000	1	16	4
4	-	4	10000	2	21	5

APÊNDICE L – ANÁLISE DE BENEFÍCIO DA NOVA ESPECIFICAÇÃO NA ESTIRAGEM

Tabela 29 – Estimativa do peso médio de PD1 em perfis não fresados.

Amostra (Atado)	Peso Pontas Sucata (Kg)	Qtd. Pontas Sucata	Peso médio por Ponta Sucata (Kg)	%PD1	Peso médio de PD1 (Kg)
3110066.02	18	29	0,62	75,2%	0,47
3110066.03	30	33	0,91	56,1%	0,51
3110066.05	15	33	0,45	59,3%	0,27
3110066.08	29	30	0,97	52,0%	0,50
3110066.12	30	22	1,36	51,4%	0,70
3110066.13	15	27	0,56	43,2%	0,24
3110075.01	13	18	0,72	77,7%	0,56
3110059.01	30	12	2,50	83,2%	2,08
3109253.01	6	10	0,60	65,3%	0,39
3109481.04	22	4	5,50	67,8%	3,73
3109481.05	23	4	5,75	67,0%	3,85
3109481.08	22	4	5,50	63,8%	3,51
3109538.01	46	5	9,20	47,1%	4,34
3109559.02	37	7	5,28	63,3%	3,34
3109560.01	48	8	6,00	44,1%	2,65
3109273.01	42	5	8,40	23,8%	2,00
3109273.03	135	11	12,27	13,4%	1,65
3110048.02	72	28	2,57	44,3%	1,14
3110048.03	62	16	3,88	80,6%	3,12
3110048.05	60	28	2,14	59,9%	1,28
3110049.01	15	6	2,45	82,7%	2,03
3110050.01	24	9	2,62	76,1%	1,99
3109657.06	74	15	4,93	20,4%	1,00
3110071.01	15	17	0,88	79,4%	0,70
3109564.01	22	3	7,33	25,1%	1,84
Média	36	15,36	3,74	0,57	1,76

Tabela 30 – Indicadores utilizados para o cálculo do benefício da melhoria.

Coefficiente de redução (%)	3,6
Poupança (€/Kg)	3
Produção (Barras/hora)	24
Produção (horas/turno)	7,5
Produção (turno/dia)	3

Tabela 31 – Benefício financeiro estimado para a implementação da nova especificação no processo de estiragem.

Proposta de melhoria	Peso médio atual (Kg)	Peso médio estimado (Kg)	Redução (Kg)	Poupança (€/ponta)	Poupança (€/hora)	Poupança (€/turno)	Poupança (€/mês)
Nova especificação no empurro	1,76	1,70	0,06	0,19 €	4,56 €	34,21 €	2.258,15 €

INSTRUÇÃO STANDARD DE PRODUÇÃO				DATA EMISSÃO	18/05/2023		PÁGINA 2 / 2					
REFERÊNCIA	ISP1 SPN02-08.0	DESCRIÇÃO	FRESAGEM DE PONTAS - ISP NIIGATA	SETOR	ESTRAGEM	POSTO DE TRABALHO	NIIGATA	BOLLINGHAUS STEEL				
Nº	OPERAÇÃO:	S	Descrição dos Passos				DESENHOS/FOTOGRAFIAS					
4	Medir, ajustar rolos de alimentação e mesa de fresagem e fresar	<p>4.7 - Verificar as pastilhas a utilizar consoante o seu estado e o material a fresar. Caso estas não se encontrem conformes para a fresagem, proceder mudança das pastilhas. (Foto 8)</p> <p>4.8 - Ligar, posicionar a roca e colocar a mesa em avanço. Pressionar o botão de "Avanço Mesa Velocidade Máquinação direita" um pouco antes da roca atingir as barras garantindo assim uma fresagem máxima de 2 mm por passagem.</p> <p>4.9 - Retirar a(s) barra da prensa de aperto e colocá-la(s) no berço de descarregar ou virar face da(s) barra(s) (caso seja a 1ª barra, verificar dimensões da parte fresada; repetir verificação em mais 2/3 barras). Voltar a fixar uma barra na prensa de aperto para repetir o processo 4.8 até que todas as barras estejam fresadas. (Foto 9)</p> <p>4.10 - Rebarbar cantos vivos derivados da fresagem durante a fresagem de outra barra. (Foto 10) Se o disco tiver gasto, proceder à troca.</p> <p>Procedimento: medir dimensões das barras, ajustar rolos de alimentação, ajustar altura da mesa, verificar pastilhas da roca, fresar, retirar barra, rebarbar durante a fresagem de outra(s) barras(s).</p> <p>4.11 - No fim do processo, confirmar se todas as barras foram fresadas e se é necessário fresar uma</p>										
			5	Formar e remover atado, registar informação	<p>5.1 - Após a fresagem de todas as barras, colocam-se os arames formando se assim o atado. Colocar da etiqueta no atado. (Foto 11.1 e 11.2).</p> <p>5.2 - Remoção do atado da mesa de descarga e colocação desde no stock de saída (carro porta forno) (Foto 12).</p> <p>5.3 - Fazer o registo de fresagem em Movilizer. Garantir que é registado o comprimento realmente fresado.</p>							
						6	Limpeza final de turno	<p>6 - No final do turno, o operador deve proceder à limpeza e organização do local de trabalho.</p> <p>6.1 - Consultar Plano de limpeza.</p> <p>6.2 - Limpeza das limalhas da máquina e de toda a área de aço (foto 13).</p> <p>6.3 - Certificar de que a máquina está desligada e toda a ferramenta fica no devido lugar, antes de abandonar o local.</p>				

Figura B.15 – Instrução standard de produção na fresa convencional.

INSTRUÇÃO STANDARD DE PRODUÇÃO				DATA EMISSÃO	18/05/2023		BOLLINGHAUS STEEL		PÁGINA	1/2	
REFERÊNCIA	IS2 SPN02-08.1	DESCRIÇÃO	FRESAGEM DE PONTAS	SECTOR	ESTIRAGEM	POSTO DE TRABALHO:	BOCK - POINTING MACHINE				
Nº	OPERAÇÃO:	S	+SEGURANÇA	+ALERTA	+QUALIDADE	+VISUAL	+MANUAL	+FERRAMENTA	+AUDITIVO	+DESLOCAÇÃO	DESENHOS/FOTOGRAFIAS
1	Tarefas obrigatórias de início de turno	+	+	+	+	+	+	+	+	+	  
2	Ligar Máquina	+	+	+	+	+	+	+	+	+	  
3	Carregar mesa de alimentação da máquina	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<p>2.1 - Verificar se o stock de entrada possui material. Caso isto não se verifique verificar na célula da decapagem, se não houver contactar técnico de turno ou supervisor da área. Se o stock de entrada não tiver material mas sim a célula da decapagem, retirar o material com ponte rolante para os rolos depois retirar novamente com ponte rolante para colocá-lo no stock de entrada (foto 2).</p> <p>2.2 - Ligar máquina no geral - Desativar o botão de</p> <p>3.1 - Com o auxílio da ponte rolante, retirar atado a cortar do stock de entrada e colocá-lo na mesa de alimentação da máquina. (foto 3)</p> <p>3.1 - Com o auxílio da ponte rolante, retirar atado a cortar do stock de entrada e colocá-lo na mesa de alimentação da máquina. (foto 3)</p> <p>3.1 - Com o auxílio da ponte rolante, retirar atado a cortar do stock de entrada e colocá-lo na mesa de alimentação da máquina. (foto 3)</p>
4	Medir, ajustar rolos de esmagamento e lâmina de corte, esmagar e cortar	+	+	+	+	+	+	+	+	+	  

APÊNDICES

INSTRUÇÃO STANDARD DE PRODUÇÃO				DATA EMISSÃO	18/05/2023		PROGRAMA		2 / 2		
REFERENCIAL	ISF2 SPN02-08.1	DESCRIÇÃO	FRESAGEM	SETOR	ESTRAGEM	POSTO DE TRABALHO	BOCK - POINTING MACHINE				
Nº	OPERAÇÃO:	Descrição dos Passos + SEGURANÇA + ALERTA + QUALIDADE + VISUAL + MANUAL + FERRAMENTA + AUDITIVO + DESLOCAÇÃO				DESENHOS/FOTOGRAFIAS					
4	Medir, ajustar rolos de esmagamento e lâmina de corte, esmagar e cortar	<p>4.6 - Colocar uma barra nos rolos de alimentação (foto 7.1) e com os comandos destes deslocar barra até aos rolos de esmagamento. Esmagar uma barra (foto 7.2) (caso seja a 1ª barra, verificar dimensões da barra).</p> <p>4.7 - Ajuste do batente de corte consoante a largura da barra. Verificar se a lâmina se encontra alinhada com o cutelo da barra - Este passo é feito caso seja necessário o corte das barras ao cutelo.</p> <p>4.8 - Colocar barra no sítio de corte. Apertar prensa de aperto vertical (foto 8.1). Cortar barra ao cutelo (foto 8.2). Verificar se o corte se encontra conforme. Caso a barra fique com arestas vivas, rebarbar estas.</p> <p>4.9 - Colocar barra no berço de descarga utilizando o comando de descarga da mesa de alimentação (foto 9).</p> <p>4.10 - Repetir processos 4.6 e 4.8 até que todas as barras do atado estejam esmagadas e cortadas.</p> <p>Procedimento: medir dimensões das barras, ajustar rolos de esmagamentos, esmagar barra, medir, ajustar batente de corte, cortar, retirar barra.</p> <p>4.11 - No fim do processo, confirmar se todas as barras foram esmagadas e cortadas.</p>	 <p>7.1 Colocação da barra nos rolos de alimentação, comandos de avanço,</p>	 <p>7.2</p>	 <p>8.1</p>	 <p>8.2 Colocação da duas mão nos comandos de corte para proceder ao</p>	 <p>9</p>	 <p>10.1</p>			
5	Formar e remover atado, registar informação	<p>5.1 - Após o esmagamento, corte e colocação de todas as barras no berço de descarga, colocam-se os arames formando o atado. Colocar a etiqueta no atado. (Foto 10.1 e 10.2).</p> <p>5.2 - Fazer o registo de fresagem em Movilizer. Garantir que é registado o comprimento realmente fresado.</p> <p>5.3 - Remoção do atado da mesa de descarga e colocação desde nos rolos de saída. (Foto 11)</p>	 <p>10.2</p>	 <p>11</p>	 <p>12</p>						
6	Limpeza final de turno	<p>6 - No final do turno, o operador deve proceder à limpeza e organização do local de trabalho.</p> <p>6.1 - Consultar Plano de limpeza.</p> <p>6.2 - Limpeza das pontas cortadas da máquina e de toda a área de ação (foto 12).</p> <p>6.3 - Certificar de que a máquina está desligada e toda a ferramenta fica no devido lugar, antes de abandonar o local.</p>									

Figura B.16 – Instrução standard de produção na ponteadora Bock..

APÊNDICE N – CADERNO DE FRESAGEM DE PONTAS PARA ESTIRAGEM DE PERFIS ESPECIAIS

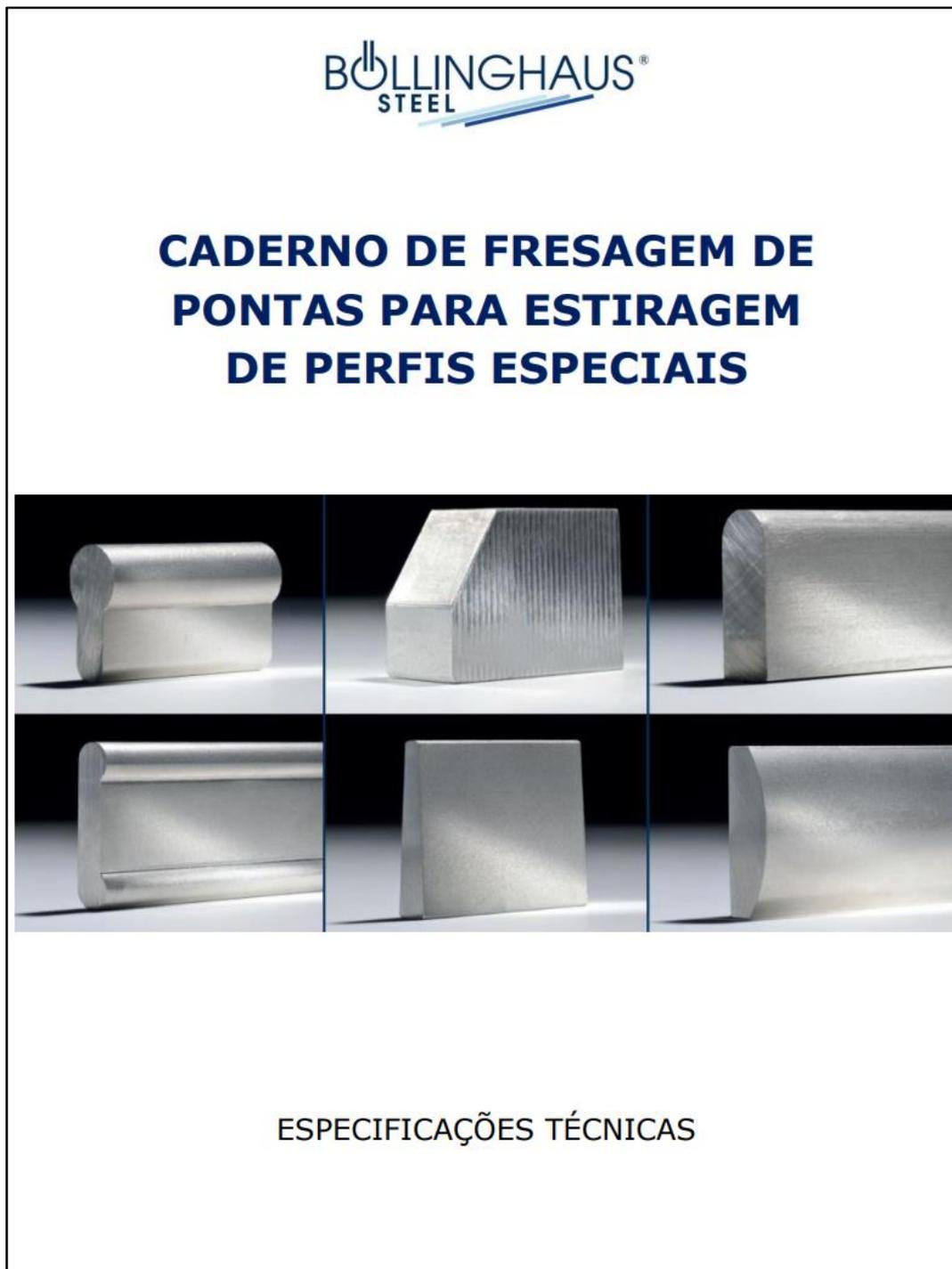


Figura B.17 – Capa do caderno desenvolvido.

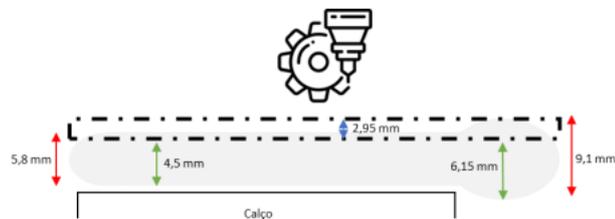
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA			Código	Revisão
	FRESAGEM DE PONTAS PARA ESTIRAGEM DE PERFIS ESPECIAIS				
	Elaboração	João Ferreira	Aprovação		Data

NOME DO PRODUTO	PERFIL TEAR DROP	CÓDIGO ARTIGO SAP	92060000800
------------------------	-------------------------	--------------------------	--------------------

PROCEDIMENTO

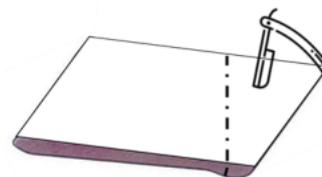
1. Fresar 1 Face (Fresadora)

- Garantir espessura menor **abaixo** de **4,5 mm**
- Garantir espessura maior **abaixo** de **6,15 mm**
- Comprimento **máximo** indicado na etiqueta
- Utilizar calço retangular adaptado às condições da prensa, de acordo com a figura.



2. Navalhar 1 Cutelo (Bock)

- Navalhar o cutelo do lado oval
- Comprimento **máximo** indicado na etiqueta



3. Rebarbar Arestas Vivas (Rebarbadora)

- Comprimento **máximo** atingido pela rebarbagem (**indicado na etiqueta + 20 mm**)

PERFIL ESTIRADO FINAL

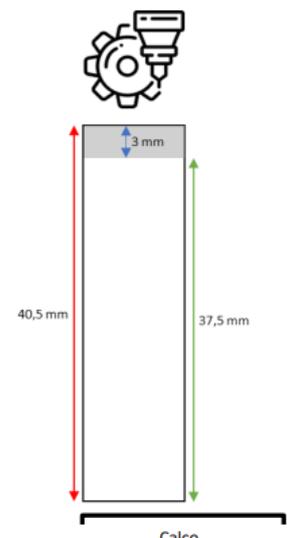
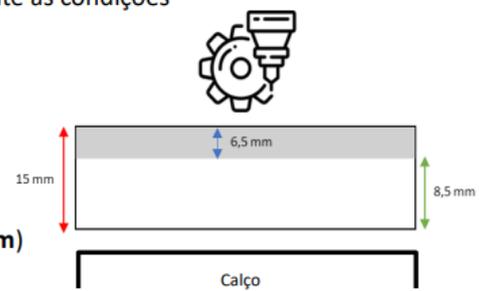
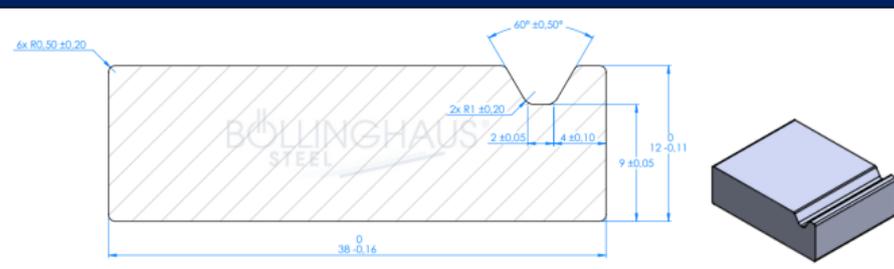


*Em casos de dúvida comunicar com o Supervisor

Figura B.18 – Exemplo de especificação técnica de fresagem desenvolvida para o perfil especial Tear Drop.

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA			Código	Revisão	
	FRESAGEM DE PONTAS PARA ESTIRAGEM DE PERFIS ESPECIAIS					
	Elaboração	João Ferreira	Aprovação		Data	01/06/2023

NOME DO PRODUTO	PERFIL RAIL C/ FUNDO PLANO	CÓDIGO ARTIGO SAP	62038001200
-----------------	----------------------------	-------------------	-------------

PROCEDIMENTO	
<p>1. Fresar 1 Cutelo (Fresadora)</p> <ul style="list-style-type: none"> Garantir largura abaixo de 37,5 mm Comprimento máximo indicado na etiqueta Possibilidade de fresar mais do que uma barra de cada vez Utilizar calço retangular adaptado consoante as condições da prensa <p>2. Fresar 1 Face (Fresadora)</p> <ul style="list-style-type: none"> Garantir espessura abaixo de 8,5 mm Comprimento máximo indicado na etiqueta Utilizar calço retangular adaptado consoante as condições da prensa <p>3. Rebarbar Arestas Vivas (Rebarbadora)</p> <ul style="list-style-type: none"> Comprimento máximo atingido pela rebarbagem (indicado na etiqueta + 20 mm) Garantir disfarce com qualidade 	 
PERFIL ESTIRADO FINAL	
	

*Em casos de dúvida comunicar com o Supervisor

Figura B.19 – Exemplo de especificação técnica de fresagem desenvolvida para o perfil especial Rail com fundo plano.

APÊNDICE O – ANÁLISE DE BENEFÍCIO DE UM BATENTE PARA O CORTE EM CD 1

Tabela 32 – Estimativa do peso médio de MOC em perfis produzidos em CD 1.

Amostra (Atado)	Peso Pontas Sucata (Kg)	Qtd. Pontas Sucata	Peso médio por Ponta Sucata (Kg)	%MOC	Peso médio de MOC (Kg)
3109618.06	107,75	63	1,71	2,54%	0,04
3109618.07	137	63	2,17	2,33%	0,05
3109618.08	117,5	63	1,87	3,57%	0,07
4054264.01	24,6	36	0,68	37,30%	0,25
4054285.01	52,5	39	1,35	1,12%	0,02
4054285.12	40,15	29	1,38	3,92%	0,05
4054284.03	35,75	20	1,79	3,59%	0,06
4054284.14	40,2	25	1,61	5,42%	0,09
4054284.15	40,5	25	1,62	7,21%	0,12
4054583.04	40,5	25	1,62	1,71%	0,03
4054583.05	37,5	25	1,50	2,78%	0,04
4054184.03	76,5	57	1,34	6,46%	0,09
4054184.04	73,9	58	1,27	8,47%	0,11
3109608.01	60	40	1,50	7,65%	0,11
3109613.01	89	50	1,78	62,94%	1,12
Média	64,89	41,20	1,55	0,10	0,15

Tabela 33 – Indicadores utilizados para o cálculo do benefício da proposta de melhoria.

Poupança (€/Kg)	3
Produção (Barras/hora)	31,7
Produção (horas/turno)	7,5
Produção (turno/dia)	2

Tabela 34 – Benefício estimado da proposta de melhoria.

Cenário	MOC atual (mm)	MOC estimado (mm)	Peso Atual (Kg)	Peso estimado (Kg)	Redução (Kg)	Poupança (€/ponta)	Poupança (€/turno)	Poupança (€/mês)
Melhor	33	0	0,15	0,00	0,15	0,45 €	107,09 €	4.712,03 €
Intermédio	33	5	0,15	0,02	0,13	0,38 €	90,87 €	3.998,09 €
Pior	33	10	0,15	0,05	0,10	0,31 €	74,64 €	3.284,14 €

APÊNDICE P – PROPOSTA DE REDUÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA PLANEADA DE UM PRODUTO

O Perfil retangular 41 x 11 é um dos perfis com mais impacto na sucata produzida no setor, de acordo com os oito perfis dimensão com mais impacto na sucata, abordados no Apêndice C. A média de sucata deste perfil dimensão é 6,12%, sendo o perfil dimensão com maior percentagem de sucata. No entanto, analisando apenas os perfis desta dimensão com LSC igual 3200 mm, a percentagem de sucata registada em 2022 é de 5,29%. A análise de MOP para este tipo de perfil evidenciou que grande parte do desperdício produzido neste tipo de perfil, provém de um mau planeamento da matéria-prima do setor da estiragem e, conseqüentemente, da matéria-prima de todo o fluxo produtivo e dos processos anteriores à estiragem.

Tabela 35 – Interpolação da sucata gerada por cada classe de ponta.

Variável	PS	B1+B2	PD1	PD2	MOC	MOP
Comprimento (mm)	551	6379	150	14	22	365
Comprimento barra (%)	8,64%	-	2,35%	0,22%	0,34%	5,72%
Sucata %	8,12%	-	1,88%	0,18%	0,34%	5,72%

Primeiramente, procurou-se entender se a ponta planeada para a estiragem (ponta com defeito) se encontra em conformidade com o comprimento de defeito real.

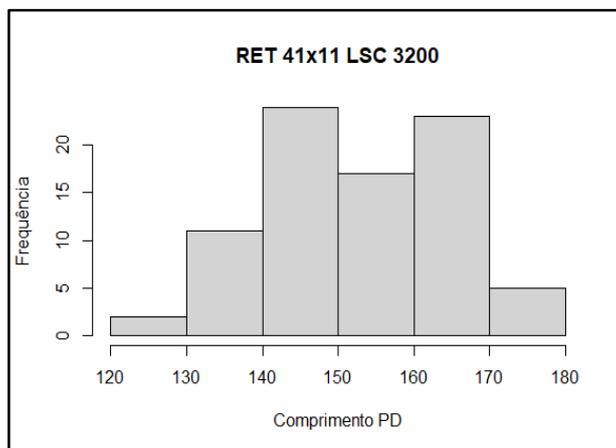


Figura B.20 – Análise do comprimento com defeito nas pontas do perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200 mm.

Tabela 36 – Análise de conformidade da ponta planeada.

Variável	PD	PD1	PD2
Ponta planeada	160	120	40
Ponta real	164	150	14

Concluiu-se que o comprimento de ponta planeada está de acordo com o comprimento de defeito realmente provocado, embora os comprimentos da ponta da frente e de trás sejam diferentes do que acontece realmente. Nesse sentido, e apesar de um planeamento errado, entende-se que a ponta planeada não tem impacto significativo na presença de MOP evidenciada nas pontas de sucata.

Analisou-se o histórico do perfil em análise, nomeadamente a partir de dados recolhidos do ano de 2022, e interpolou-se a representatividade de MOP ao longo de um período mais extenso de produção. No entanto, a representatividade foi calculada através de um cálculo minimalista, de modo que a possível redução não comprometa a eficiência produtiva e origine a produção de barras curtas. O histograma da Figura B.21 representa os resultados retirados da análise do histórico, a partir dos quais se interpolou a representatividade da variável MOP ao longo do último ano, evidenciada na Tabela 38.

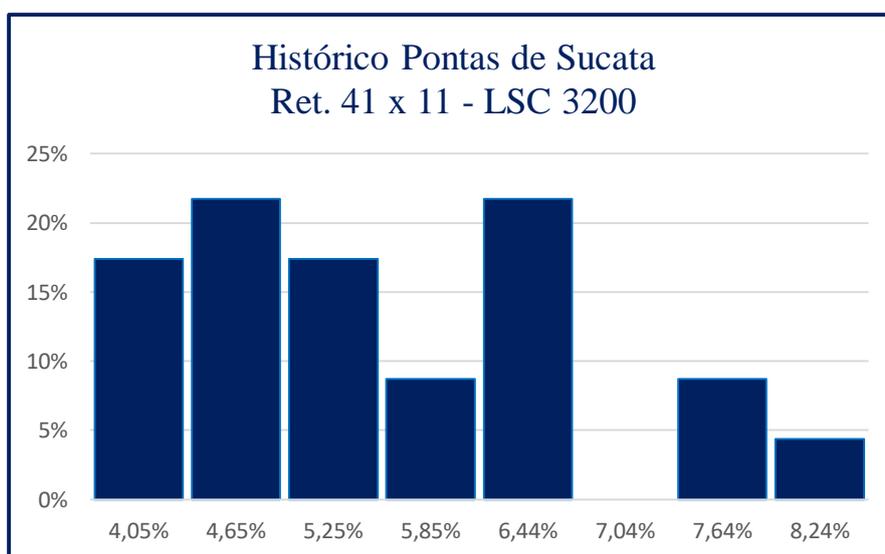


Figura B.21 – Análise da variação da percentagem de sucata do perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200 mm ao longo do ano de 2022.

Tabela 37 – Interpolação da representatividade de MOP na sucata gerada pelo perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200 mm.

Comprimento barras finais (B1+B2)		6400 mm	
Classe de ponta		PD+MS (5%)	MOP
Média – desvio padrão		172 mm	83 mm
Pontas de sucata (%)	3,99%	2,69%	1,30%

Através do valor padrão estabelecido, concluiu-se que se apenas fossem produzidas pontas de sucata com a classe MOP, a percentagem de sucata estaria frequentemente acima de 1,30%, significando uma quantidade de desperdício que poderia ser evitado caso existisse um planeamento do consumo de matéria-prima mais eficiente.

É de salientar que se atribuiu uma margem de segurança ao comprimento de ponta com defeito e atribui-se o valor zero à variável MOC, dado que essa variável está diretamente relacionada com a ausência de comprimento de barra final em relação ao LSC e, caso se verificasse, aumentaria ainda mais o indicador de MOP.

Posto isto, entendeu-se pertinente eliminar a sucata produzida pela variável MOP, através da redução do consumo planeado da matéria-prima que dá entrada no setor da estiragem e que terá, conseqüentemente, impacto no consumo da matéria-prima consumida no início de todo o fluxo de produção. De acordo com a Tabela 38, propõe-se à organização e, nomeadamente, ao setor responsável pelo planeamento, a redução de 1,25% da matéria-prima planeada para dar entrada no setor da estiragem, referente ao perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200 mm.

Tabela 38 – Proposta de redução da quantidade de matéria-prima do perfil retangular 41 x 11 com LSC 3200 mm no setor da estiragem.

Peso Final	Peso desperdício necessário	Peso desperdício (MOP)	Peso Inicial	Peso inicial necessário	Proposta de redução (MP estiragem ou Produto final laminado)
100%	2,69%	1,30%	103,99%	102,69%	-1,25%