



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

André Filipe Ferreira Santos

**UMA ABORDAGEM DMAIC PARA A REDUÇÃO DE
DEFEITOS DE MAQUINAGEM: UM ESTUDO DE CASO NA
INDÚSTRIA AUTOMÓVEL**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial
orientada pelo Professor Cristóvão Silva e apresentada ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra.

Setembro de 2023

• U



C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Uma abordagem DMAIC para a redução de defeitos de maquinagem: Um estudo de caso na indústria automóvel

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

A DMAIC approach to reducing machining defects: A case study in the automotive industry

Autor

André Filipe Ferreira Santos

Orientadores

Professor Doutor Cristóvão Silva

Engenheiro Nuno Almeida

Júri

Presidente	Professora Doutora Vanessa Sofia Melo Magalhães Professora Auxiliar Convidada da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Paulo Joaquim Antunes Vaz Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Viseu
Orientador	Professor Doutor Cristóvão Silva Professor Associado da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



RENAULT
CACIA

Renault Cacia, S.A.

Coimbra, setembro, 2023

“God grant me serenity to accept the things I cannot change, courage to change
the things I can, and wisdom to know the difference.”

Reinhold Niebuhr

Agradecimentos

O trabalho aqui presente, representa o culminar de um percurso que começou ainda bem antes da faculdade. Tal como em todos os percursos, são as pessoas que se cruzam no nosso caminho, que nos moldam e influenciam através de interações e experiências. Esta secção é um grande agradecimento a quem de uma forma ou outra me moldou até ao presente momento, independentemente da escala ou duração.

Em nota mais pessoal, não posso esquecer a minha família, especialmente os meus pais, irmã e avós maternos. Sem o amor doado, confiança depositada e orgulho demonstrado na minha pessoa, penso que teria sido incalculavelmente mais difícil todo o meu percurso e escrita do documento.

Aos meus tios e primos, pelas palavras de apoio e disponibilidade para ajudar independentemente da situação em que me encontrava.

Aos meus amigos de Campia, pelas aventuras que compuseram os intervalos da escrita da tese e pelo apoio demonstrado – Joana, Bernardo, Tuna, Guida, Arménio e Rafa.

Quanto aos meus amigos de Coimbra, é enorme a gratidão por terem feito parte destes verdes anos. Creio que a minha pessoa e percurso académico foi enriquecido pela vossa presença e não seria o mesmo noutro caso – Ventura, Rosado, Sendim, Miguel, Rui, Joana, Alex, Craveiro, Beatriz e Khrystyna.

De forma mais profissional, expresso aqui os meus agradecimentos ao Professor Doutor Cristóvão Silva, pela orientação e dedicação disponibilizada na escrita e desenvolvimento deste documento.

Da mesma forma, agradeço ao Engenheiro Nuno Almeida pelo apoio e interesse demonstrado no meu trabalho em ambiente industrial. Com uma disponibilidade constante, conselhos e orientação, foi uma mais-valia para a minha formação profissional e escrita da dissertação.

Em nota de término, agradeço a todo e qualquer um que por uma via ou outra, contribuiu para o percurso que fiz até chegar a este preciso ponto.

Resumo

Na atual conjuntura, a indústria enfrenta uma competição intensa, sendo o setor automóvel um caso sem exceção. A interseção entre qualidade e custos tem desempenhado um papel cada vez mais crucial nas organizações. O método Seis Sigma (6σ), uma abordagem baseada em dados, é amplamente utilizado em setores de negócios e manufatura para melhorar eficiência e reduzir defeitos, através da combinação de análise estatística e técnicas de melhoria de processos através do ciclo DMAIC.

O presente documento, em colaboração com a Renault Cacia S.A., explora a aplicação da metodologia 6σ no âmbito de um problema industrial relacionado com um defeito específico na caixa diferencial, conhecido como defeito de traço de fogo. O objetivo principal é reduzir em cerca de 40% a taxa de defeitos ao empregar as etapas do ciclo DMAIC. Através desta abordagem, foram identificados subprocessos e operações críticas – subprocesso associado à maquinação da coroa da caixa diferencial - ligados à disseminação do defeito. Com o foco nos mesmos, foi permitida a identificação de fatores críticos para a qualidade e outras não conformidades presentes nas caixas diferenciais defeituosas. Durante a fase de melhoria, ações foram implementadas para intervir nos fatores críticos de qualidade e eliminar causas subjacentes às inconformidades. Tais medidas foram sujeitas ao processo de controlo e monitorização para assegurar a sua eficácia a longo prazo.

Como resultado das medidas que foram implementadas na linha de produção, existiu uma redução de uma das não conformidades associadas à presença de limalha nas coroas da caixa diferencial. Esta redução situada nos 75% em relação ao primeiro trimestre, permitiu a eliminação parcial de outra não conformidade associada ao defeito em estudo.

Palavras-chave: Seis Sigma, DMAIC, Controlo Estatístico de Processo

Abstract

In the current scenario, the industry faces intense competition, and the automotive sector is no exception. The intersection of quality and costs has played an increasingly crucial role in organizations. The Six Sigma (6σ) method, a data-driven approach, is widely used in business and manufacturing sectors to improve efficiency and reduce defects by combining statistical analysis and process improvement techniques through the DMAIC cycle.

This document, in collaboration with Renault Cacia S.A., explores the application of the 6σ methodology in the context of an industrial problem related to a specific defect in the differential gearbox known as the "ring gear defect." The main objective is to reduce the defect rate by approximately 40% by employing the DMAIC cycle steps. Through this approach, subprocesses and critical operations - specifically the machining of the differential gearbox's ring gear - associated with the defect's propagation were identified. Focusing on these subprocesses allowed the identification of critical quality factors and other non-conformities present in defective differential gearboxes. During the improvement phase, actions were implemented to address the critical quality factors and eliminate underlying causes of non-conformities. These measures underwent a process of control and monitoring to ensure their long-term effectiveness.

As a result of the measures implemented on the production line, there was a reduction in one of the non-conformities associated with the presence of metal shavings in the ring gears of the differential gearbox. This reduction, which was 75% compared to the first quarter, partially contributed to the elimination of another non-conformity associated with the defect under investigation.

Keywords Six Sigma, DMAIC, Statistical Process Control

Índice

Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xv
Simbologia e Siglas	xvii
1. Introdução	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Metodologia	2
1.3. Estrutura da Dissertação	3
2. Enquadramento teórico	5
2.1. Origem e Definição – Seis Sigma	5
2.1.1. Objetivo e Propósito	7
2.2. Ciclo DMAIC	8
2.2.1. <i>Define</i>	8
2.2.2. <i>Measure</i>	9
2.2.3. <i>Analyse</i>	9
2.2.4. <i>Improve</i>	10
2.2.5. <i>Control</i>	11
2.3. Ferramentas Usada no Ciclo DMAIC – Uma visão geral	11
3. Estudo de Caso	15
3.1. A empresa – Renault Cacia	15
3.1.1. Caixa Diferencial	15
3.2. Processo Produtivo	17
3.2.1. Processo Produtivo Da Coroa e Montagem da Caixa diferencial	17
3.2.2. Rastreabilidade no Processo Produtivo	21
3.2.3. Medições Periódicas e Frequentiais	24
3.3. Caracterização do Traço de Fogo	25
3.3.1. Deteção e Controlo de Traço de Fogo	27
4. Ciclo DMAIC – Aplicação	29
4.1. Define	29
4.1.1. Project Charter	30
4.1.2. Diagrama SIPOC	33
4.2. Measure	34
4.2.1. Plano de Recolha de Dados	34
4.2.2. M1 - 1ª Fase de Recolha:	35
4.2.3. M2 - 2ª Fase de Recolha	40
4.2.4. Indicadores do Processo	41
4.3. Analyse	42
4.3.1. Distribuição de Traços de Fogo ao longo do processo industrial	42
4.3.2. Diagrama de Causa-Efeito	45
4.3.3. Fatores Críticos Para a Qualidade	47
4.3.4. Análise de Defeitos Observados nas Caixas Diferenciais	49
4.4. Improve	54
4.4.1. Ações de Melhoria – Fatores Críticos de Qualidade	54
4.4.2. Ações de Melhoria – Não Conformidades Observadas	55

4.5. Controlo	57
4.5.1. Fatores Críticos Para a Qualidade	57
4.5.2. Não conformidades Observadas	60
5. Discussão de Resultados	61
5.1. Resultados Relativos ao conjunto de Ações I2.....	61
6. Considerações Finais.....	63
6.1. Conclusões.....	63
6.2. Limitações	64
6.3. Trabalhos Futuros	65
Referências Bibliográficas	66
Anexo A – SIPOC Subprocessos relativos à Caixa Diferencial	69
Anexo B – Testes T para duas amostras e IC.....	70
Anexo C – Não conformidades Observadas Nas Caixas Diferenciais.....	71
Apêndice A - Planos de Maquinação em Peça Branca	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Relação entre o nível de sigma de um processo e DPMO (Belu et al., 2018)	7
Figura 3.1. Caixa Diferencial e localização na Caixa de Velocidades	15
Figura 3.2. (a) Coroa; (b) Diferencial; Caixa diferencial Soldada	16
Figura 3.3. Esquematização das referências da caixa diferencial por família.....	16
Figura 3.4. Sistematização do processo produtivo da Caixa Diferencial	17
Figura 3.5. Fluxograma do processo produtivo da Coroa – Peça Branca	18
Figura 3.6. Fluxograma do processo de Tratamento Térmico.....	19
Figura 3.7. Fluxograma do processo de Torneamento Duro – Peça Negra.....	20
Figura 3.8. Fluxograma do processo de Montagem da Caixa Diferencial	21
Figura 3.9. Fluxograma do processo Industrial e mecanismos de rastreabilidade presentes	22
Figura 3.10. Marcação alfanumérica executada em peça branca e seus constituintes	23
Figura 3.11. Marcação Datamatrix presente na coroa em peça negra.....	23
Figura 3.12. Exameca	24
Figura 3.13 - Exemplo de Traço de Fogo na Coroa da Caixa Diferencial	26
Figura 3.14 - Exemplo de Traço de Fogo na Coroa da Caixa diferencial JT14X69	27
Figura 3.15. Detecção de Traço de Fogo no dentado da coroa	28
Figura 4.1. <i>Project Charter</i>	30
Figura 4.2. Cronograma do Projeto	33
Figura 4.3. Plano de Recolha de Dados – <i>Measure Phase</i>	35
Figura 4.4. Diagrama de Ishikawa.....	45
Figura 4.5. Matriz Esforço – Impacto para as não conformidades observadas	49
Figura 4.6. Caixa diferencial com marca de limalha na face	50
Figura 4.7. (a) Operação 150 sem a presença de limalha; (b) Operação 150 com presença de limalha	50
Figura 4.8. Análise dos 5 porquê relativa à presença de limalhas nas coroas da Linha A..	51
Figura 4.9. (a) Coroa que apresenta marcas de ferramenta da OP150; (b) Coroa Conforme	52
Figura 4.10. Análise dos 5 porquê relativa às marcas da ferramenta da OP150 Talhagem, na Linha A e C.....	53

Figura 4.11. Síntese dos fatores críticos de qualidade e Não Conformidades para as linhas de Maquinação de coroa	54
Figura 4.12. Método e Testes de hipóteses para o Fator Crítico 120CT01 (Minitab Statistical Software)	59
Figura A.1. SIPOC do subprocesso de tratamento térmico da coroa.....	69
Figura A.2. SIPOC do subprocesso de torneamento duro da coroa.....	69
Figura A.3. SIPOC do subprocesso de soldadura da coroa e caixa diferencial	69
Figura B.1 - Teste T para duas amostras	70
Figura C.1 - (a) Marcas de Chanfrenagem 160MC; (b) Marcas de Shaving 170MS	71
Figura AA.1 - Plano de Maquinação para OP110.....	73
Figura AA.2 - Plano de Maquinação para a OP120.....	73
Figura AA.3 - Plano de Maquinação para a OP140 II	74
Figura AA.4 - Plano de Maquinação para a OP140 I.....	74
Figura AA.5 - Plano de Maquinação para a OP170.....	75
Figura AA.6 - Plano de Maquinação para a OP150.....	75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1. Trabalhos desenvolvidos na área de redução de defeitos através do uso da metodologia 6σ.....	2
Tabela 2.1. Trabalhos desenvolvidos na área de redução de defeitos através do uso da metodologia 6σ.....	6
Tabela 2.2. Diferentes ferramentas usadas nas fases integrantes do Ciclo DMAIC	12
Tabela 3.1. Distribuição dos meios de controlo – exameca – ao longo dos subprocessos afetos à coroa.....	25
Tabela 4.1. SIPOC do subprocesso de maquinação da coroa.....	34
Tabela 4.2. Não conformidades visuais observadas	39
Tabela 4.3. Parâmetros de Maquinação no subprocesso de maquinação da coroa – peça branca JT15X58	40
Tabela 4.4. Indicadores relativos ao total dos meses de janeiro e fevereiro.....	41
Tabela 4.5. Parâmetros de Maquinação no subprocesso de maquinação da coroa em peça branca - Linha A.....	47
Tabela 4.6. Ações estipuladas relativamente aos Fatores Críticos de Qualidade.....	55
Tabela 4.7. Ações estipuladas relativas à presença de Não Conformidade.....	56
Tabela 4.8. Mecanismos de controlo e monitorização para as ações executadas.....	57
Tabela 4.9. Mecanismos de controlo e monitorização para as ações executadas.....	60

SIMBOLOGIA E SIGLAS

6 σ – Metodologia 6 Sigma

DMAIC – Define, Measure, Analyze, Improve, Control

DPMO – Defeitos Por Milhão de Oportunidade

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

OP – Operação

PPM – Partes Por Milhão

1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como função providenciar um enquadramento do trabalho desenvolvido em ambiente organizacional – na Renault Cacia. Sucintamente, esta introdução inicia-se com a contextualização do tema em questão, procedida pela metodologia adotada e perseguida de acordo com o problema inicial. Por fim, são apresentados e explicados os objetivos da presente dissertação, encerrando-se assim o capítulo, com a descrição do corpo da tese e respetivas secções.

1.1. Contextualização

Independentemente da indústria e setor de atividade, as organizações encontram-se constantemente expostas a pressões provocadas por forças externas. Estas pressões de carácter exógeno à organização, são exercidas por agentes tais como a inovação, evolução tecnológica e com maior relevância, a competitividade. No caso da indústria automóvel em concreto, esta hipótese confirma-se, e até se amplia devido à grandeza e papel fundamental que tem em setores como economia e inovação.

Se por um lado a história da industrial automóvel é marcada pelo advento da produção em massa, nos dias de hoje, o aumento de produtividade não é suficiente para uma organização ser competitiva por si só. A inserção do fator qualidade na equação, implica que além do requisito associado a uma elevada cadência produtiva, se destaque igualmente o cliente e a satisfação dos requisitos exigidos pelo mesmo. Em adjacência com a satisfação do cliente, é compulsivo para a indústria automóvel a redução de custos associados à qualidade.

Em suma, existe uma mudança de paradigma em relação aos fatores que afetam a competitividade industrial automóvel. Consequentemente, é imprescindível que os gestores do presente estejam cientes e familiarizados com as ferramentas que permitirão a redução de custos associados à qualidade. Só através da conjugação dos fatores mencionados anteriormente é que as organizações pertencentes à produção automóvel e setores adjacentes, podem manter elevados níveis de competitividade e singrar no mercado.

1.2. Metodologia

Nesta parte pretende-se expor a metodologia adotada na aproximação ao problema investigado. O problema proposto pela Renault Cacia tem como premissa principal a elevada taxa em PPM (partes por milhão) de caixas diferenciais com um defeito específico – o defeito de traço de fogo. Através da enunciação do problema, a metodologia de investigação a usar pode ser definida e explorada.

Tratando-se de um dilema onde a componente principal é a elevada taxa de defeitos associado a um processo industrial, e o objetivo subsequente a minimização desta mesma taxa defeituosa, decidiu-se que estrutura mais adequada a perseguir será a metodologia 6σ . A construção da Tabela 1.1, tem como propósito a fundamentação da escolha metodológica, através da análise de problemas de natureza semelhante ao que consta na presente dissertação.

Tabela 1.1. Trabalhos desenvolvidos na área de redução de defeitos através do uso da metodologia 6σ

Autor	Título	Indústria	Problema	Resultados
(Reddy & Reddy, 2010)	Process improvement using Six Sigma – a case study in small scale industry	Manufatura	Elevada Taxa de Rejeição de Rolamentos	Redução do valor de valores fora dos limites das 15.780 para as 154 PPM
(Antony et al., 2012)	Case study in Six Sigma methodology: manufacturing quality improvement and guidance for managers	Automotiva	Redução dos custos associados à qualidade devido a defeitos na manufatura de bombas de injeção	Redução do valor de defeitos 157.972 para 5715 PPM resultando numa poupança de 70.000€ anuais
(Gandhi et al., 2019)	Reduction of rejection of cylinder blocks in a casting unit: A six sigma DMAIC perspective	Indústria Metalúrgica	Elevada taxa de rejeição de Blocos de Motor	Redução da taxa em PPM dos 28.111 para os 9.708 resultando numa poupança anual de 14.000€

Como é observável na tabela anterior, existem problemas de carácter análogo ao que foi proposto pela empresa, que se baseiam numa abordagem 6σ para a sua resolução. Apesar da amostra presente na mesma tabela ser ligeiramente reduzida, esta demonstra que uma abordagem 6σ a problemas de qualidade resulta em resultados substancialmente positivos.

Tendo como base a tabela anterior e o objetivo do trabalho presente neste documento - a redução de defeitos num processo da indústria automóvel - apresentou-se como óbvia a que metodologia 6σ seria a mais indicada.

De forma sucinta, o objetivo principal a ter em mente consiste na redução do número de caixas diferenciais – em PPM – com traço de fogo. Através de uma redução de cerca de 40% espera-se que os impactos financeiros e operacionais existentes derivados ao problema em estudo sejam atenuados. Na execução e aplicação do ciclo DMAIC – presente no capítulo 4 – tanto o problema como os benefícios serão expostos de forma mais detalhada e concreta.

1.3. Estrutura da Dissertação

No que concerne a estrutura da presente dissertação, pode-se afirmar que existem duas grandes componentes: inicialmente uma de carácter teórico, seguida por outra onde predomina a vertente prática.

A componente teórica começa no capítulo 2, onde é apresentado o *framework* teórico da metodologia escolhida e aborda-se de um ponto de vista académico alguns elementos da metodologia 6 σ e do respetivo ciclo DMAIC. Nesta visão geral da metodologia e ciclo DMAIC, também são evidenciadas as evoluções perpetuadas no meio académico, e variações da aplicação do ciclo DMAIC no campo prático. Nesta altura, toda a constituinte teórica presente na dissertação foi abordada e caracterizada, dado que o restante deste documento terá uma base prática moldada pelo problema em estudo.

Iniciando-se no capítulo 3, é apresentado o estudo de caso e concetualização do mesmo – criando-se uma base sólida para posterior aplicação do ciclo DMAIC. No capítulo 4 insere-se a aplicação do ciclo DMAIC ao problema em estudo. Através do fecho do capítulo precedente, a discussão e apresentação de resultados remonta ao capítulo 5. Subsequentemente, o capítulo 6 surge como desfecho do trabalho realizado. Neste capítulo estão enunciadas as principais conclusões, limitações e são enumeradas possibilidades para trabalhos futuros.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O enquadramento teórico presente nesta secção baseia-se na revisão da literatura. Tem como objetivo fornecer um referencial abrangente que suporte a metodologia 6σ , os seus principais constituintes e a aplicação dos mesmos.

Após expostos os conceitos básicos desta metodologia, é necessário abordar o principal quadro de aplicação – o ciclo DMAIC. É fornecida uma caracterização geral do ciclo DMAIC, das suas etapas e princípios correspondentes.

O próximo passo baseia-se na reunião de informações práticas sobre a implementação da metodologia Seis Sigma no mundo industrial. Foi compilada uma tabela resumo em que são destacados artigos nos quais a metodologia Seis Sigma – com recurso ao ciclo DMAIC - foi aplicado com sucesso em várias indústrias.

2.1. Origem e Definição – Seis Sigma

No que diz respeito à origem do 6σ , pode-se argumentar que esta foi inicialmente aplicada pelo pioneiro Bob Galvin na Motorola. Este novo referencial metodológico surgiu devido à pressão de forças competitivas oriundas do Japão. Com o sucesso obtido na Motorola, grandes organizações como a General Electric e AlliedSignal replicaram o método (Snee, 2010). Como consequência, foram atingidos elevados níveis de produtividade e satisfação do cliente. Nos dias de hoje, a metodologia 6σ ampliou os seus campos de aplicação. Além de desempenhar um papel importante no setor produtivo, também o setor dos serviços se tem apoderado e feito uso desta metodologia de forma eficiente.

Apesar da origem do Seis Sigma ser bastante direta, a definição desta filosofia não se encontra tão bem uniformizada. Como é possível observar na Tabela 2.1, existe uma discrepância significativa entre o campo teórico e prático do estudo desta metodologia – apesar de alguns conceitos coincidirem de forma transversal.

Tabela 2.1. Trabalhos desenvolvidos na área de redução de defeitos através do uso da metodologia 6σ

Autor	Âmbito do estudo	Definição Proposta
(Kumar et al., 2006)	Caso de Estudo	<i>"The statistically based problem-solving methodology of Six Sigma delivers data to drive solutions, delivering dramatic bottom-line results."</i>
(Montgomery & Woodall, 2008)	Artigo Teórico	<i>"Six Sigma is a disciplined, project-oriented statistically based approach for reducing variability, removing defects, and eliminating waste from products, processes and transactions."</i>
(Pyzdek & Keller, 2010)	Livro Teórico	<i>"Six Sigma is a rigorous, focused, and highly effective implementation of proven quality principles and techniques."</i>

Em primeiro lugar, no campo da prática, existem várias definições que visam diferentes pontos desta abordagem baseada em estatística e ciência – o que torna difícil encontrar uma definição comum entre vários autores. De acordo com (Schroeder et al., 2008), há alguma volatilidade nos conceitos de seis sigma apresentados pelos praticantes. Essa ambiguidade pode levar a alguns mal-entendidos sobre a metodologia Sigma e aplicações práticas divergentes consoante os autores e praticantes.

Em seguida, o segundo desafio é a lacuna entre a visão teórica e a prática. Conforme descrito por (De Koning & De Mast, 2006), a adversidade em relação à pesquisa científica no caso desta metodologia, é a ausência de uma exposição consistente e cristalizada desta metodologia e filosofia.

Para resolver os problemas apresentados anteriormente em relação à definição ambígua do Seis Sigma, (Schroeder et al., 2008) afirma que o Seis Sigma é uma estrutura organizada, paralela e mesoestruturada para reduzir a variação nos processos de negócios por meio da aplicação de uma metodologia estruturada e indicadores de desempenho que visam alcançar os objetivos estratégicos. Esta definição dá-se devido às discrepâncias mencionadas anteriormente e à necessidade de existir uma definição que agregue os pontos chave deste método.

2.1.1. Objetivo e Propósito

Dado que já foi fornecida uma sucinta revisão da definição do Six Sigma, enunciam-se os objetivos inerentes a esta metodologia. Tal como já mencionado, esta filosofia tem uma base estatística, e as metas da mesma também se baseia na aplicação de noções derivadas do mesmo campo, especialmente da variável do desvio padrão σ .

De acordo com (Pyzdek & Keller, 2010), existe uma relação entre o nível de σ do processo e o número de defeitos em DPMO – defeitos por milhão de oportunidade. Esta ligação encontra-se representada na Figura 2.1.

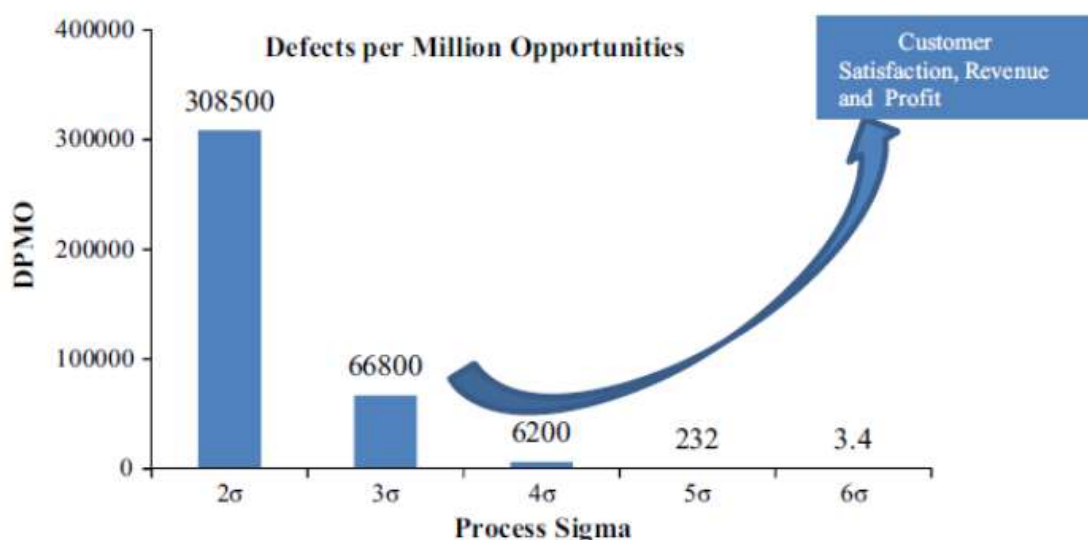


Figura 2.1. Relação entre o nível de sigma de um processo e DPMO (Belu et al., 2018)

A noção de σ presente nesta metodologia deriva do campo estatístico; representado qualquer desvio padrão da variável aleatória quando comparado com a média (Smętkowska & Mrugalska, 2018). Consequentemente, para um processo onde vigore um nível de 6 σ , pode-se afirmar que este está a operar num intervalo dentro de seis vezes o desvio padrão. Quanto aos DPMO's, num processo a operar ao nível mencionado anteriormente, não existe espaço para mais de 3,4 defeitos por milhão de oportunidade – implicando assim um elevado nível de capacidade do processo.

(Montgomery & Woodall, 2008), afirma que a questão dos 3,4 DPMO é uma distração e não representa o real objetivo desta metodologia. Segundo os mesmos autores, o autêntico objetivo do Seis Sigma é a redução da variabilidade do processo e erradicação dos defeitos originados pelo mesmo.

Como forma de término da presente secção, o indicador referido anteriormente como DPMO¹ e cálculo do mesmo, são cruciais para garantir melhorias quanto à qualidade (Mittal et al., 2023). Segundo o mesmo autor, o cálculo desta medida é feito da seguinte forma:

$$DPMO = \frac{\text{Número total de defeitos numa amostra}}{\text{Oportunidades de Defeito numa amostra}} * 1000000 \quad (2.1)$$

Através do uso do indicador calculado na equação anterior, é possível determinar o nível de sigma de um processo. O indicador associado ao nível de sigma do processo irá possibilitar uma análise ao processo à luz da metodologia 6σ e enquadrar a capacidade do processo em termos estatísticos.

2.2. Ciclo DMAIC

O ciclo DMAIC apresenta-se como o método principal associado ao 6σ para a redução de variabilidade do processo; e engloba 5 etapas cruciais – *Define, Measure, Analyse, Improve, Control*. Através de (Sharma et al., 2018), é reiterado que a aplicação das fases respetivas a este ciclo deve ter uma lógica sequencial e cada uma destas deve ter um objetivo em mente. A aplicação ordeira das fases constituintes do DMAIC e implementação de ferramentas em cada uma, irá originar *outputs* valiosos que seguem uma lógica PDCA – *Plan, Do, Check, Act*.

A aplicação da metodologia 6 Sigma com recurso ao ciclo DMAIC já resolveu alguns problemas no setor industrial. Como resultados obtidos (Trimarjoko et al., 2020) menciona a redução da variabilidade do processo, decréscimo dos custos de produção, aumento da produtividade e aumento da satisfação dos clientes.

2.2.1. *Define*

A definição do problema, objetivos e requisitos pertence à primeira fase deste ciclo – a fase de definir. Como esta etapa é a que inicia o ciclo, deve ser cuidadosamente pensada tal que todos os outros passos a executar estejam dotados de coerência entre si.

¹ Na aplicação do Ciclo DMAIC e ao longo deste documento este indicador é referenciado como PPM – Partes por milhão uma vez que a Renault Cacia usa esta nomenclatura.

De acordo com (Mittal et al., 2023), a fase de definição consiste na identificação de definição de 3 grandes campos: o problema, objetivo do projeto e requerimentos do cliente. Apesar desta visão mais geral corresponder ao que é pretendido nesta fase, é dada em (Smętkowska & Mrugalska, 2018) uma visão mais pormenorizada:

- Definir recursos e entregáveis;
- Definir a estrutura organizacional mais favorável para atingir os objetivos;
- Clarificar os elementos necessários e duração do projeto;
- Garantir suporte dos responsáveis pela gestão a níveis superiores;

Esta fase do ciclo DMAIC também avalia a justaposição entre os objetivos do projeto e organizacionais. Esta sobreposição de objetivos pode revelar-se vantajosa para garantir o suporte da gestão de topo no desenvolver do projeto.

2.2.2. Measure

A segunda fase integrante do ciclo DMAIC é denominada de fase de medição. O plano e execução desta etapa são cruciais, tal que ambas as fases de análise e melhoria serão sustentadas pelos dados recolhidos neste passo. Toda a informação usada para quantificar o processo e estipular adequado das métricas a determinar e acompanhar dependem do desenrolar e sucesso desta fase.

Quanto às preocupações desta fase, os pontos principais a ter em mente são identificados subsequentemente (Smętkowska & Mrugalska, 2018):

- Determinar indicadores válidos e inequívocos;
- Avaliar a quantidade e suficiência de medições executadas;
- Documentar a performance atual do processo;
- Executar testes comparativos;

2.2.3. Analyse

A presente fase tem como base o cálculo da capacidade atual do processo e comparação com aquela que é ambicionada – necessária para satisfazer as necessidades dos clientes. Esta comparação é possível uma vez que os dados relativos ao processo – recolhidos na fase anterior – são passíveis de ser analisados.

Com a comparações dos dois estados – estado atual e estado desejado – é possível incorrer à determinação das causas raiz. Estas causas raiz serão fatores responsáveis pela existência de variabilidade e deriva do processo industrial. A análise de amostras pode tornar-se eficiente para confirmar que potenciais problemas são problemas efetivamente reais.

A definição minuciosa e clara das variáveis que provocam variabilidade será fundamental para as ações planeadas e executadas na fase de melhoria.

Através de (Smętkowska & Mrugalska, 2018), enunciam-se os seguintes objetivos da fase de análise:

- Identificar as causas raiz dos problemas;
- Identificar as diferenças entre a performance atual e objetivada;
- Estimar os recursos requeridos para atingir o objetivo;
- Identificar os possíveis obstáculos;

2.2.4. *Improve*

A quarta fase a desempenhar engloba a estrutura e aplicação de ações de melhoria. Para que de tais ações resulte o efeito desejado – a melhoria do processo e subsequentes elementos – é indispensável a recolha de informações. Destaca-se a importância de ter em mente aspetos financeiros e os requisitos do cliente na estipulação das melhorias.

Em (Smętkowska & Mrugalska, 2018) são destacados os seguintes objetivos desta fase:

- Delinear a estrutura e divisão dos trabalhos;
- Desenvolver e testar hipóteses selecionando a melhor;
- Formular um plano de implementação;

Sublinha-se que nesta fase é ambicionado que a variabilidade e imperfeições do processo sejam reduzidas e/ou eliminadas. Resta mencionar que em conjunto com a implementação de algumas ações, é crucial confirmar a validade e precisão das mesmas numa escala mais reduzida. Apenas com a satisfação dos requisitos anteriores, é adequado a implementação numa escala mais abrangente.

2.2.5. Control

Como fase final, existe a etapa de controlo cujo intuito recai sobre a monitorização do processo melhorado e dos resultados obtidos. A monitorização e controlo do processo melhorado deve ser executada de forma contínua.

O futuro estado do processo não deve ser negligenciado. Como consequência, pretende-se que a evolução do processo, e impactos resultantes das ações implementadas estejam em concordância com o objetivo delineado inicialmente.

No que diz respeito à etapa de controlo, (Smętkowska & Mrugalska, 2018) alertam para os seguintes pontos:

- Documentação e normalização do plano de controlo relativo ao processo melhorado;
- Confirmação das ações de melhoria;
- Transferência da liderança do projeto para as equipas;

2.3. Ferramentas Usada no Ciclo DMAIC – Uma visão geral

Na secção que aborda o Six Sigma como metodologia, já foi exposto e analisado o deslocamento que existe entre as componentes teóricas e práticas. No caso em específico do ciclo DMAIC denota-se uma variedade de ferramentas que podem ser usadas em cada uma das fases abordadas anteriormente. Em (Norzaimi et al., 2016) é afirmado que um dos problemas é a variedade de ferramentas aplicadas em cada fase do ciclo pelos praticantes. Como resultado, a validação e verificação de cada etapa do DMAIC não se encontra claramente definida.

De forma a tentar estudar esta discrepância entre métodos práticos usados no ciclo DMAIC, foi reunida e sintetizada informação relativamente às diferentes ferramentas aplicadas. Esta síntese encontra-se na Tabela 2.2, onde se deu primazia aos escritos académicos cujo uso do DMAIC foi feito em indústrias adjacentes ou similares à indústria desta dissertação – a indústria automóvel.

Nesta mesma tabela também é reforçado o sucesso que esta metodologia tem quando utilizada a questões de investigação associadas a problemas de qualidade num processo industrial.

Tabela 2.2. Diferentes ferramentas usadas nas fases integrantes do Ciclo DMAIC

Autor	Indústria/Produto	Objetivo Principal	Define	Measure	Analyse	Improve	Control	Resultados
(Norzaimi et al., 2016)	Automotiva; Produtos de Áudio	Reduzir a Taxa de rejeição de 0,8% para 0,4%	VOC; VOP; 5W1H; Scatter plot	Gráfico de Pareto; Mapeamento do Processo; Capacidade do Processo	Ishikawa; Análise Multivotos	Teste de Hipóteses	Gráfico de Dispersão; Estudo da capacidade do processo;	Redução de defeitos em 50%; Aumento do C_p 0,96 para 2,14
(Gandhi et al., 2019)	Fundição; Blocos de cilindros	Redução de defeitos	VOC; CTQ; VOB; CTP; Análise de Pareto; Quantificação do Processo inicial (C_p e PPM)	Ishikawa; Análise de Pareto; indicadores X e Y	Testes de Normalidade ; Identificação das Causas raiz	Sugestão de possíveis soluções	Plano de implementação em larga escala; Reavaliação do processo (C_p e PPM)	Redução da taxa de defeitos em PPM dos 84000 para 37000; Aumento do C_p de 2,88 para 3,28

Autor	Indústria/Produto	Objetivo Principal	Define	Measure	Analyse	Improve	Control	Resultados
(Reddy & Reddy, 2010)	Manufatura; Rolamentos	Redução da Taxa de Rejeição de 2.2%	Definição do Problema; SIPOC	Avaliação de C_p ; Taxa de rejeição; DPMO; Gage R&R	Análise de Pareto; Ishikawa	Lista de ações para melhorar	Documentação e uniformização das medidas implementadas; Gráficos de controlo estabelecidos; Formação dos operadores quanto a controlo de processo; Plano de ações corretivas	Aumento do C_p de 4,04 para 4,44; redução da taxa de rejeição para 0,65%
(Silva et al., 2020)	Automotiva; Componentes Plásticos	Redução de não conformidades em moldes de injeção	Definir o problema e objetivos;	Análise de Paretos aos principais defeitos;	Brainstorming e Causas raiz	Ishikawa; 5Why's; Lista de ações a curto e longo prazo	Reavaliação da taxa de não conformidades	Redução da taxa de Não conformidades dos 47% para 22%
(Yadav & Sukhwani, 2016)	Automotiva; Placas de Embraiagens	Redução da Taxa de Rejeição	Definir o Problema; Quantificação do processo DPMO/Nível de σ	Plano de Medições	Ishikawa; Análise de Pareto; Determinação da causa raiz	Brainstorming e Plano de ações	Reavaliação do Processo: DPMO/Nível de σ	Aumento do Nível de σ de 2,99 para 3,86; Redução do DPMO de 68000 para 9000

Autor	Indústria/Produto	Objetivo Principal	Define	Measure	Analyse	Improve	Control	Resultados
(Jou et al., 2022)	Automotiva; Bombas de injeção	Redução da Taxa de Rejeição	SIPOC; Listagem dos CTQ	Avaliação do processo DPMO/Nível de σ ; Gráficos de Controlo	Análise de Pareto; Ishikawa;FMEA	5W1H	Reavaliação do nível de σ do processo e DPMO	Aumento do nível de σ de 4,93 para 5,11; Redução DPMO de 301000 para 152000
(Shankaranarayana, 2017)	Motorizada; Injeção de componentes por moldação	Eliminar a taxa de defeito devido a marcas de injeção em 100%	Project Charter; SIPOC	Plano de Recolha de dados; Cálculo da Capacidade do processo; Mapa do processo	Ishikawa; Matriz causa-efeito para as causas raiz	Design of Experiments	Gráficos de Controlo; Mapas do processo; Planos de monitorização	Redução da taxa de rejeição e retrabalho para os 0%

3. ESTUDO DE CASO

3.1. A empresa – Renault Cacia

A Renault Cacia – localizada em Cacia, Aveiro – é uma unidade industrial que pertence ao Grupo Renault, fundado em 1898. O complexo de Cacia possui uma área total de 300.000 m² dos quais 70.000 m² são cobertos e emprega cerca de 1085 trabalhadores. Em termos produtivos, a unidade de Cacia tem dois grandes segmentos produtivos que totalizam um total aproximado de 500 000 unidades anuais produzidas:

1. Montagem de Caixas de Velocidade – JX20 e JX22 – incluindo a produção dos respetivos componentes;
2. Componentes mecânicos para motores: árvores de equilibragem, bombas de óleo, entre outros componentes em ferro fundido e alumínio;

Apesar da produção dos componentes referidos anteriormente se situar na unidade de Cacia, estes são destinados às fábricas pares do grupo Renault especializadas na montagem e mecânica de veículos – situadas em França, Índia, Chile, Brasil entre outras partes do globo. Além do escoamento dos produtos se dar para fábricas do grupo Renault, os componentes mecânicos são exportados para outros grandes competidores da indústria automóvel.

3.1.1. Caixa Diferencial

A caixa diferencial como produto, e o defeito de traço de fogo que ocorre na mesma são os principais objetos deste documento. Relativamente à caixa diferencial, esta é um elemento fulcral da caixa de velocidades.

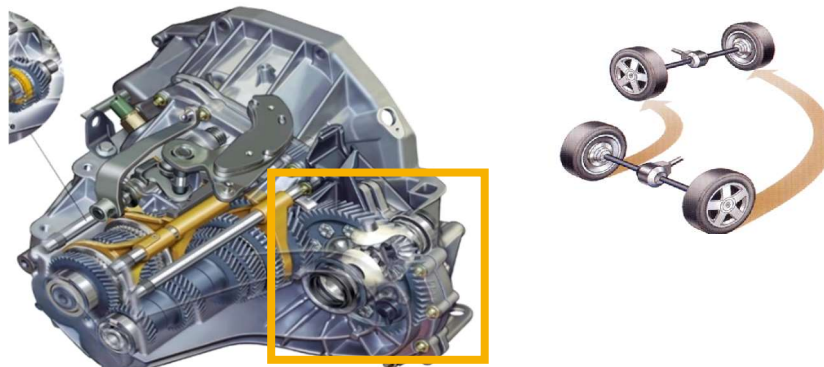


Figura 3.1. Caixa Diferencial e localização na Caixa de Velocidades

Na Figura 3.1., é evidenciada a localização da caixa diferencial na caixa de velocidades. O papel da caixa diferencial está associado à transmissão do momento fornecido pelo motor aos 2 pares de rodas do veículo. A caixa diferencial tem como papel a divisão igual do momento fornecido no caso de ser efetuada uma curva ou a condução numa estrada inclinada (Britannica, 1998). Através desta distribuição igual de momento, este componente garante que os dois pares de rodas possuem a mesma velocidade angular ao longo do movimento do veículo.

A caixa diferencial é constituída pelo conjunto de duas peças: a Coroa e o Diferencial que neste caso são unidos através de um processo de soldadura. Este conjunto de 2 elementos encontra-se representado na Figura 3.2., onde é possível ver cada elemento constituinte, e por fim a caixa diferencial já montada, isto é, soldada.



Figura 3.2. (a) Coroa; (b) Diferencial; Caixa diferencial Soldada

No que diz respeito à produção de caixas diferenciais, esta encontra-se esquematizada na Figura 3.3. Através desta, constata-se que existem 6 referências de caixas diferenciais a serem produzidas.

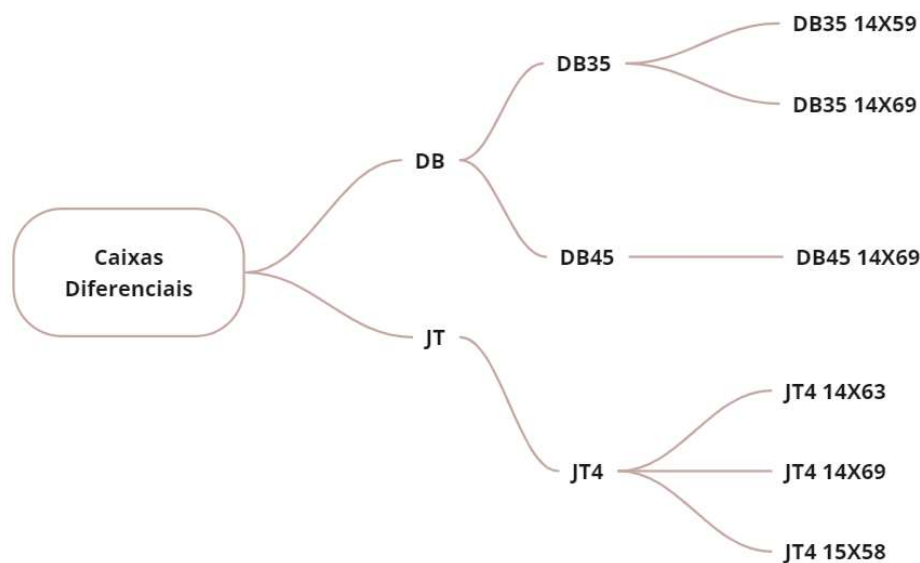


Figura 3.3. Esquematização das referências da caixa diferencial por família

3.2. Processo Produtivo

O processo produtivo da caixa diferencial – como conjunto montado – pode ser dividido em 2 grandes segmentos: o primeiro relativo à coroa onde são englobados 3 subprocessos e subseqüentemente, o subprocesso que dá origem ao diferencial – sistematizado na Figura 3.4. O desenrolar da presente secção irá caracterizar e aprofundar os processos produtivos mencionados anteriormente, de forma a fornecer uma melhor compreensão dos mesmos.

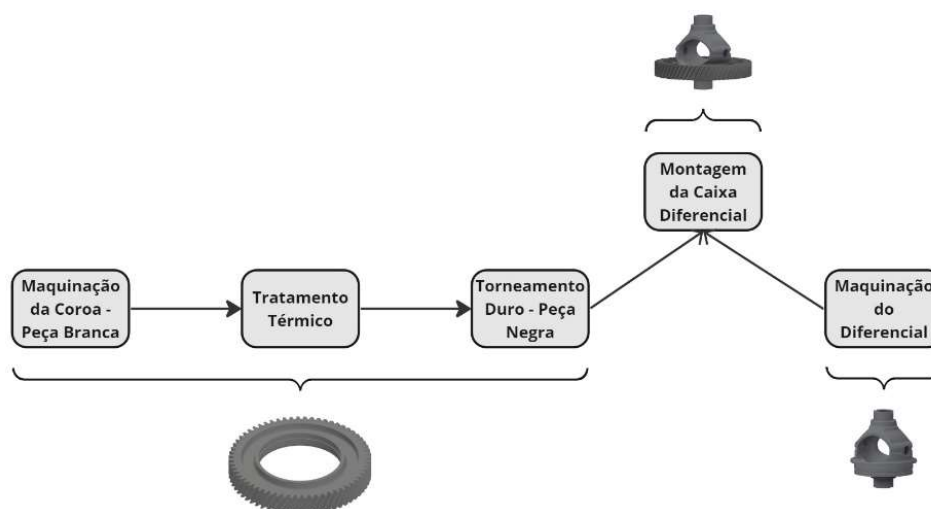


Figura 3.4. Sistematização do processo produtivo da Caixa Diferencial

3.2.1. Processo Produtivo Da Coroa e Montagem da Caixa diferencial

Na presente etapa, será abordado de forma moderadamente detalhada o processo de produção da coroa. Este componente da caixa diferencial é manufacturado ao longo de 3 grandes etapas ou subprocessos: inicia-se na maquinação da coroa, seguindo-se um processo de tratamento térmico e por fim, a coroa retorna a ser maquinada na fase do torneamento duro.

É possível contemplar na figura anterior – Figura 3.4 – os termos **peça branca** e **peça negra** nas fases anteriores e posteriores ao tratamento térmico, respetivamente. Esta nomenclatura é devido à alteração das propriedades físicas da peça no Tratamento Térmico – em especial a cor e a dureza.

Por fim, é fornecida uma visão do subproduto final onde a coroa é um dos elementos-chave – a caixa diferencial já montada. Este subprocesso contém importância acrescida, uma vez que é neste que se encontra a operação de deteção e controlo do traço de fogo.

3.2.1.1. Maquinação da Coroa – Peça Branca

Quanto à unidade de manufatura da coroa, existem 4 linhas de maquinação – linhas A, B, C e D – onde a estrutura e operações executadas nas mesmas não se alteram significativamente. Dentro destas linhas o modo de funcionamento é o mesmo, o material ainda em bruto entra como *input* e após 7 operações, a coroa em peça branca é o *output* pronto a ser direcionado para os tratamentos térmicos.

Na Figura 3.5, encontram-se dispostas as operações que são executadas nas linhas de maquinação, a direção do fluxo de peças, e algumas suboperações que serão pertinentes mencionar – estas estão maioritariamente relacionadas com os mecanismos de rastreabilidade existentes em linha.

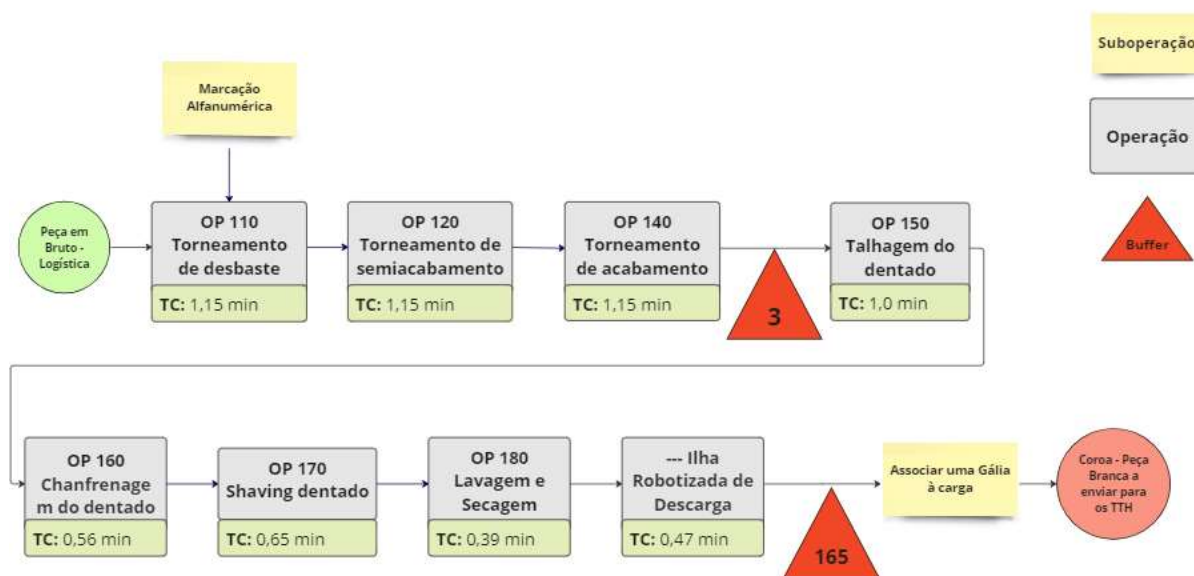


Figura 3.5. Fluxograma do processo produtivo da Coroa – Peça Branca

De forma sucinta, o processo inicia-se com a colocação do bruto no suporte, onde de seguida é gravado na face um código alfanumérico que indica a referência, linha de produção, número de série da peça e número de lote – o número do lote é relativo ao dia do calendário em que o bruto foi marcado. No que concerne o transporte das peças ao longo da linha, a partir do momento em que o bruto é inserido pelo operador, todas as outras operações estão conectadas com tapetes cuja finalidade é o transporte.

De seguida, dão-se 3 operações de torneamento que irão eliminar a rugosidade do material bruto: OP110, OP120, OP140. A OP150 é relativa à talhagem do dente na coroa. Nesta operação as peças não são maquinadas individualmente como se sucede nas demais, daí a

existência de um buffer de 3 peças – funcionalidade que será abordada posteriormente devido à considerável relevância.

Posteriormente, existem as operações de chanfrenagem OP160 e OP170 shaving do dentado que visam proporcionar um melhor acabamento aos dentes da coroa. A última etapa consiste na lavagem das peças na OP180, o que permitirá o posterior acondicionamento das mesmas num carro de transporte que seguirá para os tratamentos térmicos – cada carro ou *charriot* tem uma capacidade de 165² peças por carga.

3.2.1.2. Tratamento Térmico

Após o subprocesso de maquinação da coroa como peça branca, a carga de coroas está destinada ao subprocesso de tratamento térmico. Este tem como objetivo o aumento da dureza da coroa através de alterações físicas e químicas. Destacam-se os processos de carbonitruração e revenido que serão responsáveis pelo aumento da dureza superficial do material.

Como é possível constatar na Figura 3.6, este subprocesso tem término nas operações de granalhagem cujo propósito é a limpeza da coroa e o retardar do fenómeno de oxidação da mesma quando exposta ao ar.

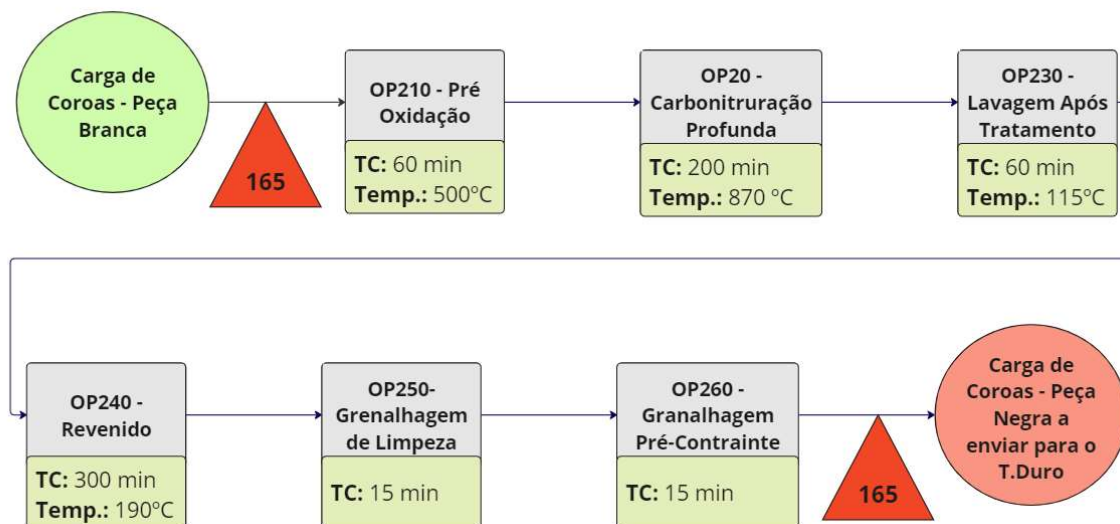


Figura 3.6. Fluxograma do processo de Tratamento Térmico

Ao contrário do que acontece no subprocesso anterior, o tratamento e respetivas operações desempenhadas nas coroas são executadas na carga de 165 peças e não unitariamente.

² Este número relativo à capacidade do charriot diminui quando a referência é DB45 para as 150 peças devido às dimensões maiores desta referência em relação às outras.

Ver-se-á que no subprocesso seguinte – Torneamento Duro – retomam as operações onde existe apenas uma peça por ciclo.

3.2.1.3. Torneamento Duro – Peça Negra

A última etapa relativa ao processo produtivo da coroa da caixa diferencial é mais uma vez baseada na maquinação e consequente remoção de material. A coroa após adquirir uma maior dureza no subprocesso anterior – tratamentos térmicos – irá ter torneado o diâmetro interior para posteriormente ser possível soldar o diferencial. No início deste subprocesso ainda é atribuído um código datamatrix específico a cada coroa, o que permitirá ter rastreabilidade da mesma ao longo das linhas onde esta passa, o que inclui o torneamento duro. A OP335 e OP350 estão marcadas como suboperações devido à relação com o datamatrix. Nestas suboperações não são executadas quaisquer alterações físicas à coroa, além da marcação de um código QR e a atribuição a uma carga – OP335 e OP350, respetivamente.



Figura 3.7. Fluxograma do processo de Torneamento Duro – Peça Negra

Posto isto, as linhas de torneamento duro têm no seu cerne a operação de torneamento, intercalada entre duas suboperações relacionadas com a marcação e rastreabilidade das coroas. As linhas de maquinação da peça negra são no total 3, onde em cada uma destas existem 2 postos de maquinação, perfazendo um total 6 postos possíveis para a maquinação.

3.2.1.4. Montagem da Caixa Diferencial

O subprocesso que está na origem da caixa diferencial como produto final é caracterizado pela soldadura da coroa na caixa diferencial. Este é o subprocesso onde vigora o maior número de operações a serem executadas. Também é relevante mencionar que a possibilidade de aparecimento de traço de fogo e deteção do mesmo são duas particularidades

presentes nesta fase produtiva. Tudo o que foi mencionado anteriormente é observável através da Figura 3.8.

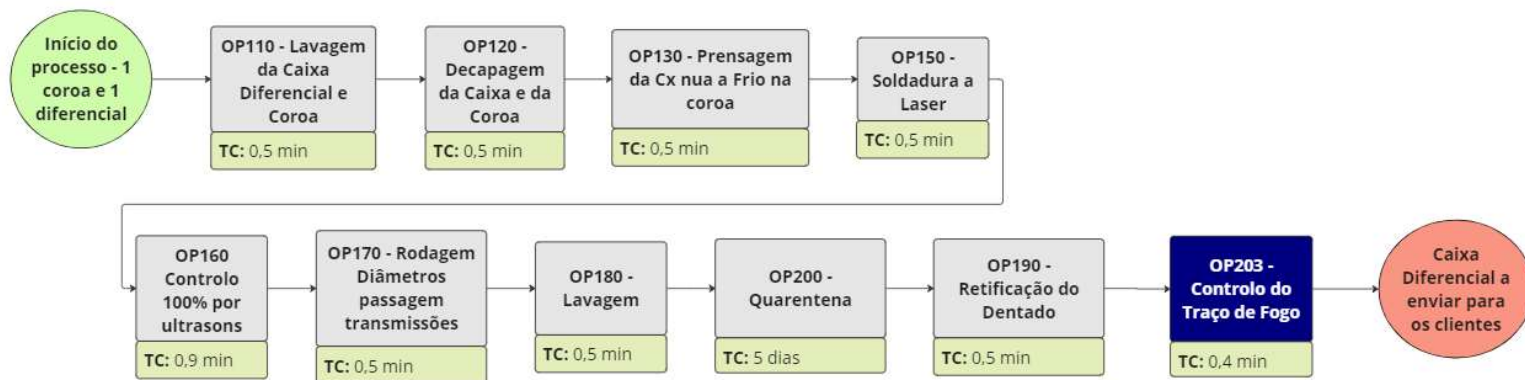


Figura 3.8. Fluxograma do processo de Montagem da Caixa Diferencial

Como pontos de partida do processo, são inseridos no início da linha uma coroa e um diferencial ainda separados. As primeiras operações dizem respeito à lavagem e decapagem de ambos os componentes. Na operação denominada de 130, ocorre a prensagem da caixa diferencial na coroa a frio – sendo este o primeiro ponto onde os dois constituintes ficam unidos.

Na operação 140, esta junção entre caixa e diferencial será reforçada através de uma operação de soldadura a laser. Devido às interações entre materiais diferentes no processo de soldadura e alterações físicas, o conjunto já soldado passa por um primeiro controlo completo através de ultrasons após o arrefecimento³.

Subsequentemente, existe uma operação de lavagem – OP180 – que é seguido por um período de quarentena de forma a evitar fraturas radiais. Por fim, existe a operação 190 associada à retificação onde já será possível averiguar a existência do defeito em estudo – defeito de traço de fogo. Em concordância com a operação de retificação e defeito mencionado, a OP203 é responsável pela deteção e controlo do traço de fogo através de um sistema automático – tema aprofundado de modo mais detalhado em 3.3.1.

3.2.2. Rastreabilidade no Processo Produtivo

A rastreabilidade do processo produtivo demonstrou-se extremamente importante para o desenvolvimento e aplicação do ciclo DMAIC. Devido a este facto, irá ser abordado de

³ As operações e alterações mencionadas neste parágrafo serão potenciadoras para a causa de fraturas radiais nas caixas diferenciais.

forma superficial os mecanismos existentes que permitem obter uma visão clara do percurso feito pelas caixas diferenciais e seus constituintes.

A rastreabilidade e mecanismos existentes podem ser divididos em 2 grandes campos: a marcação alfanumérica e a marcação com recurso a um datamatrix, vulgarmente denominado como código QR. A disposição destes 2 tipos de traçabilidade encontram-se disponíveis na Figura 3.9.

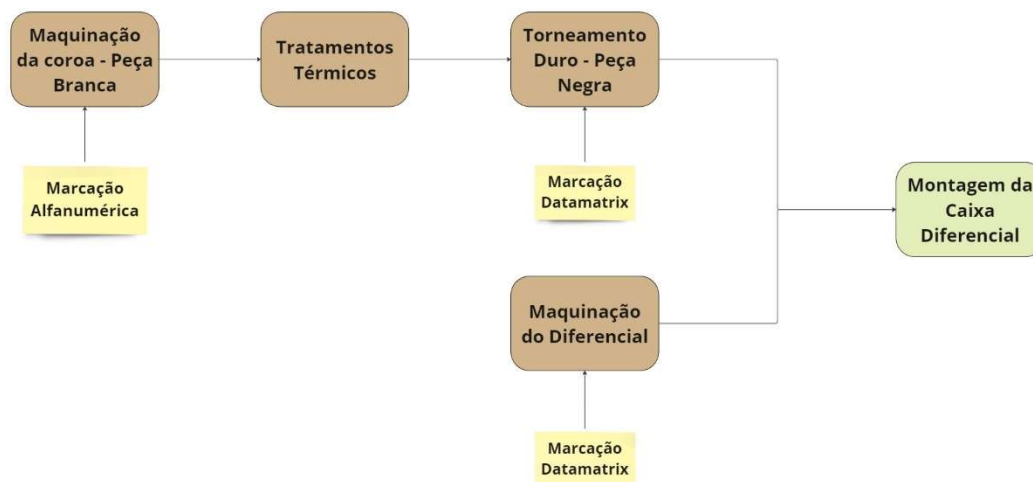


Figura 3.9. Fluxograma do processo Industrial e mecanismos de rastreabilidade presentes

Como é possível verificar, a marcação datamatrix é apenas inserida na coroa após o tratamento térmico. Sucede-se assim, uma vez que seria impossível manter esta identificação intacta no subprocesso de tratamento térmico onde vigoram altas temperaturas e operações que promovem a alteração física das coroas.

Posto isto, a marcação inicia-se ainda em peça branca com a gravação alfanumérica na coroa. Esta marcação alfanumérica consiste na gravação de vários pontos que identificam a origem da coroa. Na Figura 3.10, encontra-se exposta a lógica por detrás da marcação alfanumérica.

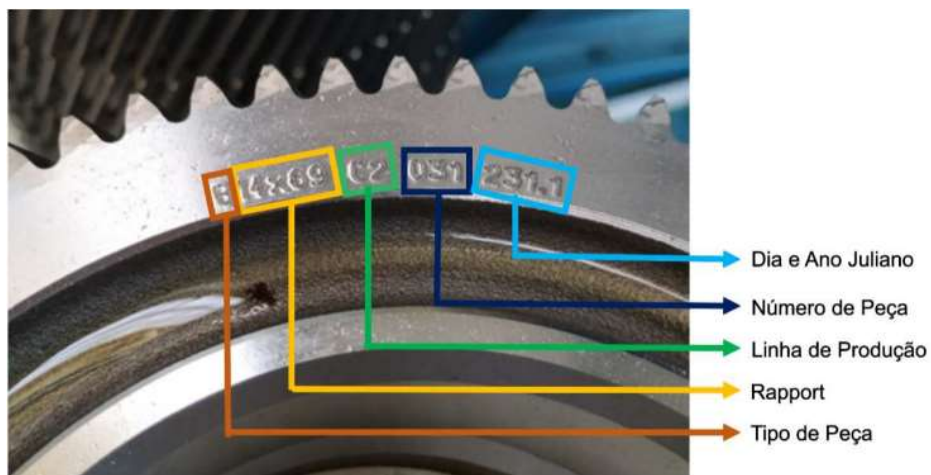


Figura 3.10. Marcação alfanumérica executada em peça branca e seus constituintes

O segundo indicador de rastreabilidade consiste na marcação datamatrix da coroa que se inicia no subprocesso de torneamento duro da coroa. Este código datamatrix irá fazer com que seja possível ter uma visão mais detalhada das operações pelas quais a coroa passou a partir do momento em que é gravado o código QR. Esta visibilidade dura desde o início até ao fim do processo, i.e., desde o torneamento duro até à operação de verificação de traço de fogo onde se encontra a caixa diferencial completamente pronta. Na Figura 3.11, encontra-se uma representação desta marcação



Figura 3.11. Marcação Datamatrix presente na coroa em peça negra

A marcação datamatrix conterá uma série de elementos presentes nas coroas – e diferenciais se for o caso – pela seguinte ordem:

1. Referência da Peça;
2. Identificação da Fábrica;
3. N° de Linha/Torno;
4. Identificação do dia do Calendário;
5. Ano;
6. N° de Série;

7. Referência/Rapport;

Este mesmo conjunto de fatores que estão contidos no código datamatrix aplicam-se ao diferencial, existindo apenas umas ligeiras diferenças quanto às linhas de maquinação e nomenclatura das mesmas.

3.2.3. Medições Periódicas e Frequentiais

Dentro do processo produtivo existem mecanismos de controlo que permitem a monitorização de vários parâmetros – maioritariamente de natureza dimensional - resultantes das operações realizadas na coroa em específico. Estas medições periódicas e individuais servem como um mecanismo de controlo quanto às operações associadas em determinada referência ou componente.

A consequência mais evidente é a identificação de derivas associadas às operações assim que uma coroa é medida. Esta identificação instantânea permite o ajuste ou intervenção na máquina associada à operação em tempo real. A segunda grande vantagem da medição periódica prende-se com a obtenção de um histórico das operações por subprocesso quanto a todos os parâmetros controlados.

O meio encarregue pelas medições periódicas é referido na organização como exameca. Esta encontra-se na Figura 3.12.



Figura 3.12. Exameca

As medições periódicas efetuadas diariamente por este meio tornaram-se cruciais na fase de medidas do ciclo DMAIC, em especial na M2 - 2ª Fase de Recolha, daí a explicação mais detalhada dos mecanismos de medição existentes nas coroas em especial.

Na Tabela 3.1, está exposta a disposição das examecas ao longo dos subprocessos da coroa. Apesar dos mecanismos de controlo terem um destaque maior neste trabalho, esta máquina também tem funções associadas à rastreabilidade no torneamento duro.

Tabela 3.1. Distribuição dos meios de controlo – exameca – ao longo dos subprocessos afetos à coroa

Subprocesso	Linha	Nº da Exameca	Rastreabilidade
Maquinação da Coroa Peça Branca	A	62018943	-
	B		
	C	62019282	-
	D		
Torneamento Duro - Peça Negra	1	62018944	X
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		

Por fim, menciona-se a presença em Apêndice A - Planos de Maquinação em Peça Branca das frequências de medição que são efetuadas em cada operação e os parâmetros medidos em cada uma destas.

3.3. Caracterização do Traço de Fogo

Esta subsecção é dedicada à apresentação geral e caracterização do defeito em estudo. O foco está em fornecer uma visão geral sobre o cerne da dissertação – defeito de traço de fogo.

O traço de fogo está associado a um deficit de material no dentado da coroa da caixa diferencial e apenas é visível quando ocorre a operação de retificação - denominada também como OP190. Devido à falta de material ao longo do dentado, alguns dos dentes da coroa não terão matéria suficiente para serem retificados – dando origem ao Traço de Fogo.

Para ilustrar e consolidar a descrição anterior, é possível ver a diferença entre o dentado ao longo da coroa presente na Figura 3.13. Nesta figura encontram-se delimitadas duas secções que são denominadas como secção A e secção B.

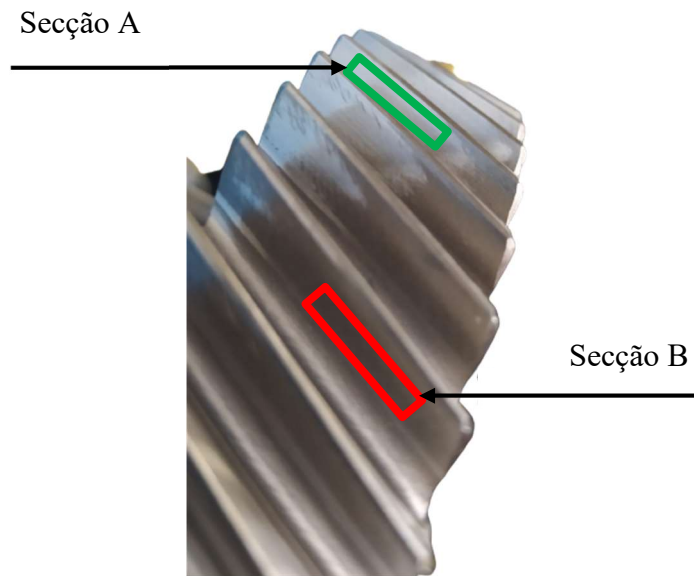


Figura 3.13 - Exemplo de Traço de Fogo na Coroa da Caixa Diferencial

Primeiramente, evidencia-se a secção A que representa a situação onde o dentado tem material suficiente para ser retirado – não ocorrendo assim Traço de Fogo. Esta secção encontra-se conforme e quando comparado com a secção B, vigora um brilho metálico nos dentes da coroa.

A secção B é a secção que possui o Traço de Fogo no dentado. Tal acontece devido ao déficit de material que já existia no dentado, o que levou com que a operação de retificação fosse incapaz de retirar mais material. Devido a esta escassez de material, os dentes da coroa são apresentados com a ausência de brilho metálico e uma cor mais escura – fatores essenciais para a identificação do Traço de Fogo.

Na figura anterior, é dado um exemplo de Traço de Fogo em vários dentes da coroa, no entanto este defeito pode possuir dimensões mais pequenas e ter uma incidência comparativamente reduzida. De modo a fornecer uma visão mais abrangente sobre a localização e morfologia do traço de fogo, é exposta de seguida a Figura 3.14, onde se encontram assinaladas as secções cujo material não foi possível retificar – dando origem ao vulgo Traço de Fogo.

Nesta figura, é observável que o Traço de Fogo pode ocorrer em zonas diferentes do dente e possuir dimensões menos extensas. Relativamente às implicações práticas do Traço de Fogo na caixa diferencial, destaca-se o ruído no funcionamento e a menor resistência à fadiga.

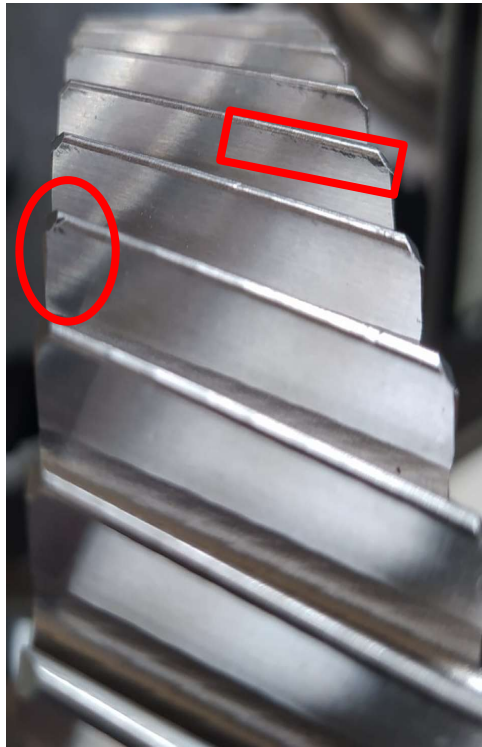


Figura 3.14 - Exemplo de Traço de Fogo na Coroa da Caixa diferencial JT14X69

3.3.1. Deteção e Controlo de Traço de Fogo

A deteção de Traço de fogo, tal como o mecanismo intrínseco à mesma está limitado apenas a uma operação – OP203 Montagem da Caixa Diferencial. Apesar de não existir qualquer alteração física ao conjunto montado da caixa diferencial, esta operação não pode ser negligenciada pois irá afetar o entendimento e desenvolvimento da tese – especialmente no que concerne os dados na aplicação do DMAIC no próximo capítulo.

Até ao ano de 2023 exclusive, o controlo de traço de fogo era efetuado por um operador que controlava a existência de defeito a olho nu. Um ponto que não se pode olvidar é que a quantidade de peças que são produzidas diariamente ronda as 2000 caixas diferenciais. Devido a estes dois fatores, muitos destes produtos careciam de um controlo próprio e adequado. Como consequência os dados relativos até 2022, período de controlo manual de traço de fogo, não irão ser contabilizados na aplicação do DMAIC.

No Gráfico 3.1, encontra-se disposto o aumento de Traço de Fogo em PPM entre o ano de 2022 e os primeiros dois meses de 2023.

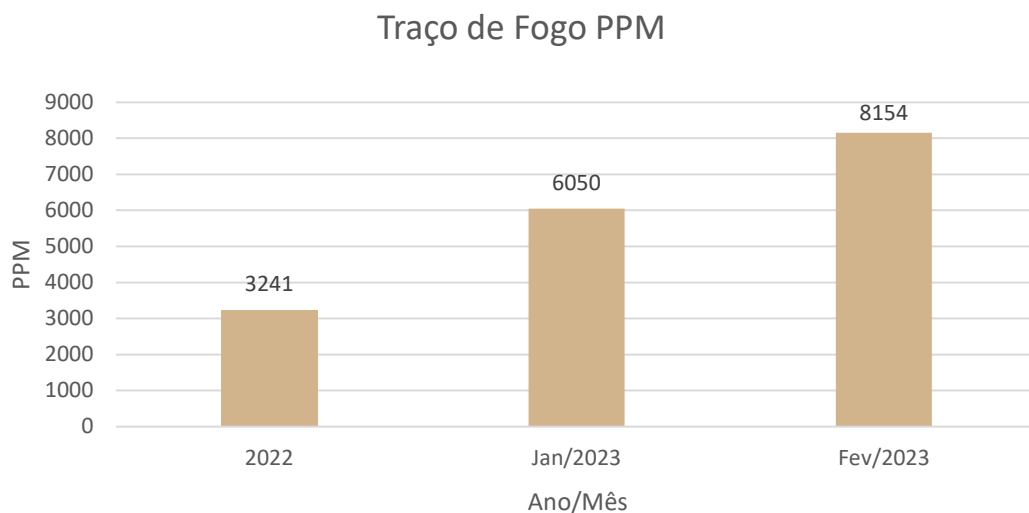


Gráfico 3.1. Traço de Fogo em PPM para 2022 e janeiro/fevereiro de 2023

O controlo de Traço de Fogo atualmente está encarregue a um sistema de inteligência artificial em sintonia com duas câmaras de alta-definição. A deteção de vestígios de traço de fogo é efetuada através de ferramentas de contraste. Como resultado apenas irão ser destacadas as superfícies escuras que correspondem aos vestígios de traço de fogo.

A explicação dada anteriormente encontra-se sistematizada na Figura 3.15. Nesta figura estão assinalados a vermelho as regiões de contraste que indicam onde se localizam os vestígios deste defeito.

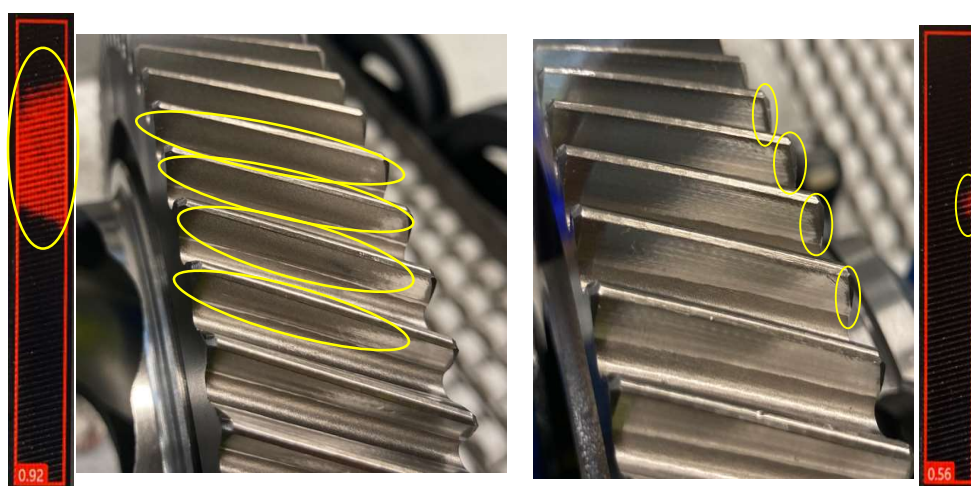


Figura 3.15. Deteção de Traço de Fogo no dentado da coroa

4. CICLO DMAIC – APLICAÇÃO

O DMAIC é uma ferramenta pertencente à metodologia Six Sigma e de forma sucinta integra 5 grandes fases: Define, Measure, Analyze, Improve, Control. A aplicação desta ferramenta é predicada e suportada, simultaneamente, pela revisão da literatura e pela gênese do problema em questão – redução do número de peças com Traço de Fogo em PPM. O ciclo DMAIC é o cerne prático desta dissertação, pelo que o presente capítulo visa dar uma visão detalhada sobre a aplicação desta ferramenta em todas as suas fases.

Primeiramente é definido o problema, objetivos e equipa de trabalho na primeira etapa – *define*. Subsequentemente, é retratado em termos quantitativos o sistema produtivo, tal como são determinadas as métricas mais relevantes para avaliação do problema em questão – tudo pertencente à fase *measure*. Segue-se a fase mais morosa do trabalho – *analyze* – onde são delineados os fatores críticos e causas que contribuem ou provocam impreterivelmente o defeito de traço de fogo. Sucede-se uma análise minuciosa destes fatores e enunciação das causas raiz. Na fase de *improve*, são estipuladas e recomendadas as medidas que visam a melhoria do processo. Nota-se que estas medidas foram estruturadas tendo como por base a etapa analítica do ciclo DMAIC. Por fim, surge a etapa de *control*, que se baseia na sugestão de mecanismos de controlo e monitorização relativamente às medidas da fase anterior. Como consequência, é garantida uma base documental para as ações desempenhadas e impactos resultantes.

4.1. Define

A etapa *define* representa o ponto de partida da aplicação desta ferramenta, sendo esta indispensável para a estrutura e desenvolvimento de um projeto com sucesso. Tal como as outras etapas do ciclo DMAIC existe uma variedade de ferramentas que podem ser usadas para a definição do problema. Numa primeira instância a definição do problema detalhadamente e da equipa de trabalho é feita com recurso ao *Project Charter*.

O mapeamento do processo já tinha sido feito na secção 3.2 e respetivas subsecções. Não obstante, recorreu-se ao diagrama SIPOC para fornecer uma visão geral dos intervenientes do processo e caracterizar alguns detalhes que não são possíveis contemplar no mapeamento feito anteriormente. Reitera-se que ambos os mapas de processo têm uma relevância

significativa e são imprescindíveis para a compreensão deste complexo sistema de operações, intervenientes e variáveis.

4.1.1. Project Charter

Como já referido, a fase define desempenha um papel crucial na estrutura e desenvolvimento inicial do projeto de Six Sigma. No caso em estudo, foi adotado como primeiro passo desta fase, a elaboração de um *project charter* presente na Figura 4.1. Esta ferramenta permite com que o projeto seja definido de forma concisa e livre de ambiguidades.

Project Charter - Traço De Fogo		
Project No.:	1	Date Charted: 25/02/2023
Rev. No.:		Rev. Date:
Descrição do Problema		Objetivo
A Renault Cacia enfrenta uma elevada taxa de recusa de caixas diferenciais com defeito - Traço de Fogo. No que concerne os meses de Janeiro a Fevereiro os dados estimam uma grandeza de 7000 PPM em Traço de Fogo.		Reduzir a taxa de Traços de Fogo em PPM para as 4500 (-40%).
Líder de Projeto		Metodologia
André Santos		Six Sigma
Equipa Projeto		Equipa de Suporte
Name	Role	Nível de compromisso
André Santos	Líder de Projeto	Elevado
Chefe de Serviço - Engenharia; Project Sponsor		Elevado
Chefe de Atlier - Caixa Diferencial		Elevado
CUET 1º Turno - Maquinação Coroa Peça Branca		Médio
CUET 1º Turno - Torneamento Duro e Soldadura		Médio
Especialista Torneamento & Torneamento Duro		Médio
Especialista Dentado		Médio
Concetor do Processo - Caixa Dif.		Baixo
Definição do Defeito		
O Traço de Fogo ocorre devido à falta de material no dentado da coroa - elemento da caixa diferencial. Devido a esta falta de material, a operação de retificação OP190 não está apta para retificar na totalidade o dentado, existindo material remanescente. Como consequência a caixa diferencial apresenta ruído no funcionamento e um menor período de vida.		
Indicadores		Benefícios Estimados
DPMO	Defeito por Milhão de Oportunidade	Reduzir o Número de Peças em PPM com Traço de Fogo
RO	Rendimento Operacional	Aumentar o Rendimento Operacional do Processo
Impacto Financeiro Direto - Custo de Sucata		Reduzir os custos diretos associado à sucata - Caixas Diferenciais com Traço de Fogo
Nível de σ do processo		Aumentar o nível de σ do processo
Âmbito do Projeto		Outras Informações
Caixas Diferencias da Família JT4, DB35 e DB45		Fatores Críticos Para a Qualidade
Departamento Caixa de Velocidades - Atelier 7 montagem da Caixa		Não Conformidades Visíveis
Data de Início		Data estimada de Fim
14/03/2023		15/07/2023

Figura 4.1. Project Charter

Como consequência, é expectável que o projeto esteja claramente definido em várias dimensões – problema central, equipa, benefícios, métricas – e seja transversalmente compreendido pela equipa.

Após a elaboração do *Project Charter*, a próximas secções serão dedicadas a uma conspeção mais profunda de alguns dos elementos presentes no mesmo. Esta abordagem mais alongada a alguns dos elementos do *Project Charter*, é essencial para o total entendimento e justificação do problema em questão.

4.1.1.1. Descrição do Problema e Histórico

A descrição do problema em termos concisos e inequívocos apresenta-se como indispensável na formulação e desenvolvimento de um projeto. No presente caso, o essencial a reter é a taxa de caixas diferenciais onde vigora o defeito de Traço de Fogo. O Traço de fogo como problema visual e funcional encontra-se descrito no capítulo 3.3 - Caracterização do Traço de Fogo.

Neste segmento apresenta-se – isenta de qualquer análise profunda – os dados relativos ao Traço de Fogo numa fase anterior ao desenvolvimento do projeto e aplicação de medidas. Esta aproximação analítica fornecerá contexto sobre a distribuição do defeito em estudo, numa perspetiva geral.

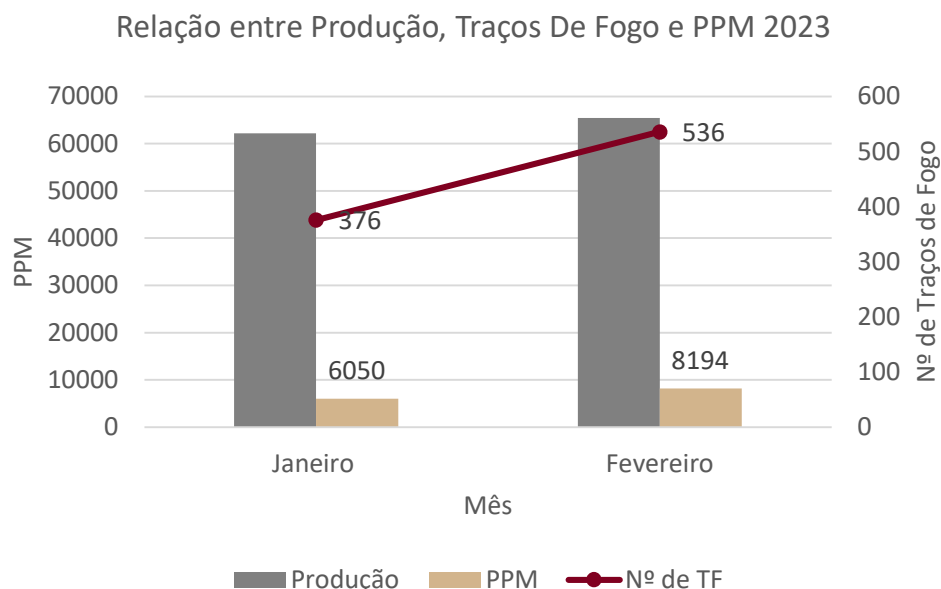


Gráfico 4.1. Relação entre a Produção Mensal, Traços de Fogo e PPM

No Gráfico 4.1, estão expostos os dados relativos aos meses de janeiro e fevereiro no que concerne a produção, número de caixas diferenciais com traço de fogo e o mesmo valor

convertido para PPM. É de mencionar que estes dados estão afetos a todas as referências de caixas diferenciais, isto é, não houve qualquer tipo de segmentação nos cálculos.

É relevante deixar em nota que esta análise primária aos dados relativos ao Traço de fogo apenas contempla o ano de 2023. A justificação desta análise estar limitada ao presente ano está relacionada com uma alteração no mecanismo de deteção e controlo deste defeito presente em 3.3.1 – Deteção e Controlo de Traço de Fogo.

Além desta limitação relativa aos dados em análise, é importante mencionar o âmbito do projeto. Neste estudo apenas é abordado o defeito de traço de fogo nas caixas diferenciais da subfamília JT4, DB35 e DB45. Por agregação, apenas foi analisado o processo produtivo inserido no perímetro do Atelier 7. É neste espaço que se desenrola todo o processo de manufatura e montagem da caixa diferencial assim como dos respetivos componentes.

4.1.1.2. Objetivo & Benefícios

Após enunciado o problema, segue-se a determinação do objetivo do projeto. Com base nos dados históricos deste defeito, a meta a atingir consiste na redução do número de Traços de Fogo para as 4500 PPM. Esta redução representa uma diminuição estimada de 40% em relação ao referencial de janeiro a fevereiro. No Gráfico 4.2, está disposto o estado atual e a meta a atingir.

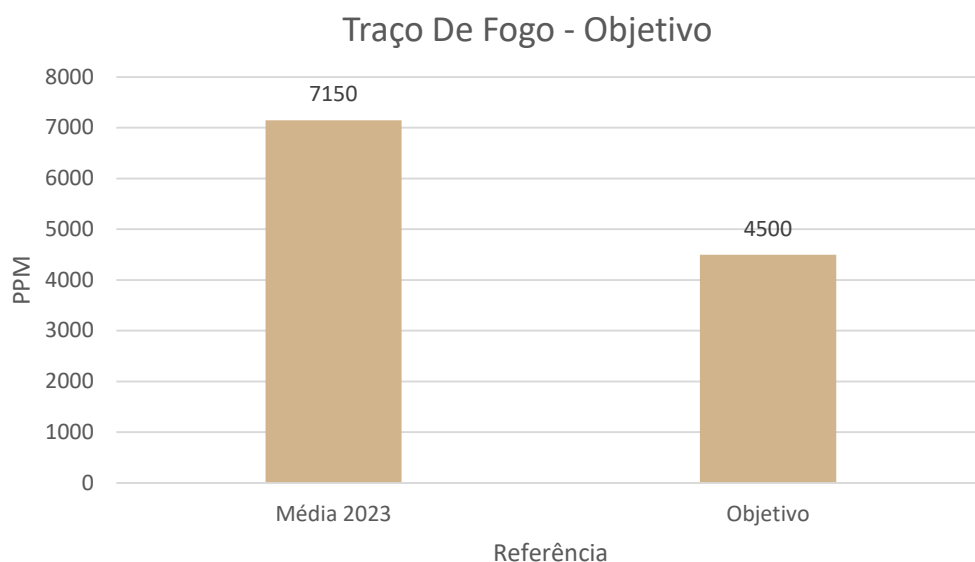


Gráfico 4.2. Objetivo a atingir no tempo previsto do Projeto

Ao completar o objetivo de forma total – ou até mesmo parcialmente – os benefícios estimados são os seguintes:

1. Diminuir os níveis de sucata;
 - a. Minimizar o impacto financeiro da sucata;
 - b. Libertar recursos humanos e físicos para a prossecução de outras atividades;
 - c. Aumentar o rendimento operacional das linhas afetadas aos processos de produção;
2. Aumentar a capacidade do processo;
3. Aumentar a satisfação dos clientes – internos e externos;

- **Cronograma do projeto:**

Por fim, foi planeado um cronograma semanal do projeto com o intuito de se delimitarem os principais marcos da aplicação do ciclo DMAIC. O número de semanas que se encontra representado coincide com a duração do estágio.

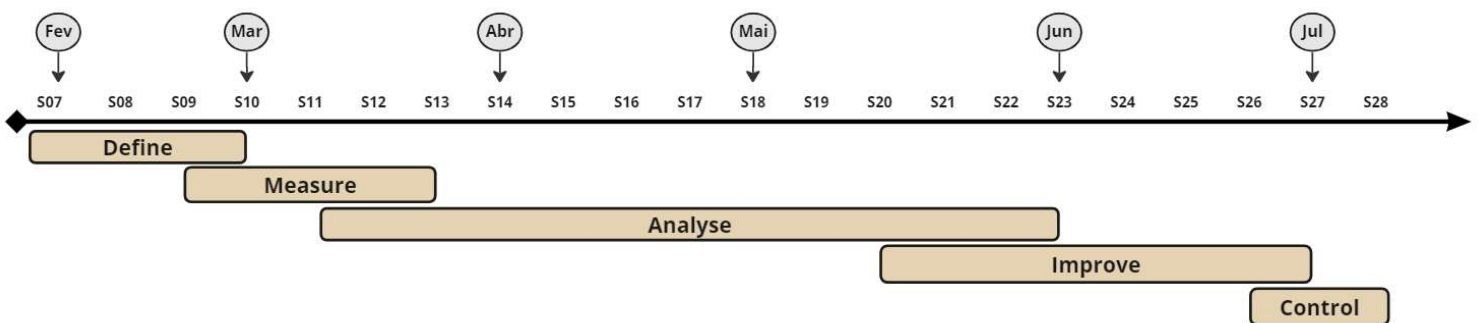


Figura 4.2. Cronograma do Projeto

4.1.2. Diagrama SIPOC

Após terem sido definidas as linhas condutoras do projeto em questão, recorreu-se à utilização do diagrama SIPOC. A utilidade desta ferramenta assenta na definição e descrição dos *inputs* provenientes dos fornecedores e *outputs* gerados pelo processo⁴ destinados ao cliente.

⁴ Apesar desta ferramenta abordar o processo de forma transversal, mais detalhes sobre o processo produtivo e respetivas operações encontram-se em 3.2.

Tabela 4.1. SIPOC do subprocesso de maquinação da coroa

Supplier	Input	Process [NºOP/Descrição]		Output	Customer
Logística Interna	Bruto pré-maquinado	110	Torneamento de Desbaste	Coroa maquinada - Peça Branca	Tratamentos Térmicos (TTh)
		120	Torneamento Semi-acabamento		
	Carro de Transporte	140	Torneamento De Acabamento	Marcação Alfanumérica	
	Fluido de lubrificação	150	Talhagem Dentado	Gália Tratamento Térmico - Identificação da carga	
	Energia	160	Chanfrenagem Dentado		
		170	Shaving Dentado		
	180	Lavagem Final PB			

A Tabela 4.1., representa o SIPOC para o subprocesso de manufatura da peça branca, uma etapa operacional bastante importante na análise do problema em questão. Analogamente, os restantes subprocessos – tratamento térmico, torneamento da coroa em peça negra, e montagem da caixa diferencial – foram sujeitos ao mesmo tipo de análise. Devido à extensão e dimensão dos *SIPOC's* dos subprocessos referidos anteriormente optou-se por colocá-los no Anexo A – SIPOC Subprocessos relativos à Caixa Diferencial.

4.2. Measure

A segunda etapa do ciclo DMAIC é a fase de medição. Esta secção pretende retratar quantitativamente o sistema produtivo atual. A concetualização em termos precisos do sistema de manufatura num estado inicial, torna-se indispensável para o desenvolvimento do ciclo DMAIC – especialmente na posterior seleção e validação de métricas.

A recolha de dados efetuada incidiu sobretudo sobre a produção de caixas diferenciais, dados relativamente ao percurso de peças com traço de fogo, e parâmetros de maquinação em subprocessos críticos.

Como forma de término desta etapa, foram determinados e calculados os indicadores mais adequados para a caracterização do estado inicial do sistema. Como consequência, os indicadores escolhidos também servirão de veículo de comparação de forma transversal ao longo do tempo.

4.2.1. Plano de Recolha de Dados

O plano de medições concetualizado teve a duração de 4 semanas e encontra-se dividido em 2 grandes períodos de recolha. Durante este período existe a sobreposição com a

fase de análise do ciclo DMAIC, o que ditou o rumo da segunda parte do processo de levantamento de dados.

A necessidade de sobrepor a fase de Measure com a etapa seguinte do ciclo DMAIC, deveu-se à complexidade e extensão do processo produtivo da caixa diferencial. Através de uma análise primária dos dados recolhidos na primeira parte do plano de medições, foi possível segmentar os pontos críticos do processo. Na Figura 4.3, encontra-se sistematizado o plano de recolha de dados para esta fase do DMAIC.

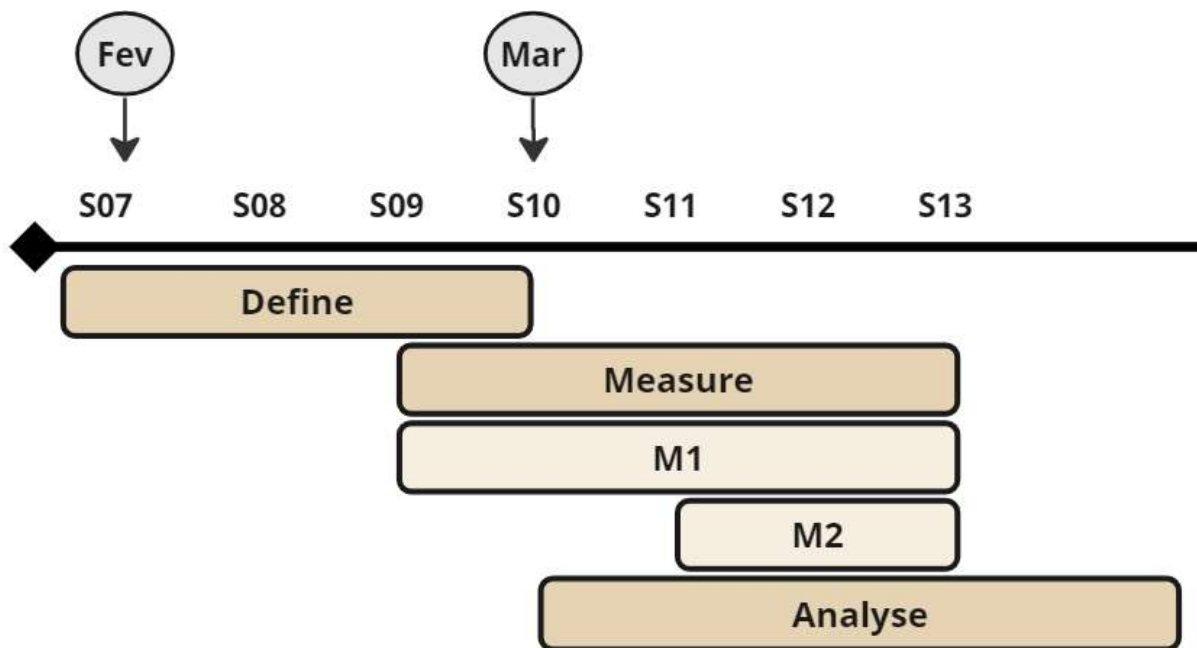


Figura 4.3. Plano de Recolha de Dados – *Measure Phase*

4.2.2. M1 - 1ª Fase de Recolha:

A primeira parte do plano de recolha de dados consistiu num estudo da produção e criação de um histórico quanto ao percurso das peças com Traço de Fogo. Relativamente à produção, foi desempenhado um estudo para os anos de 2022 e 2023. Este estudo produtivo abrangeu somente a produção da caixa diferencial já completa no período relativo ao primeiro trimestre de 2023.

Uma das particularidades dos dados quanto ao estudo produtivo, é que apesar deste abordar o processo todo não tem em conta, diretamente, as peças que apresentavam traço de fogo. De forma a sobrepor esta limitação, o que se seguiu foi a construção de um histórico quanto às peças que possuíam este defeito.

A criação deste histórico através da rastreabilidade das caixas diferenciais permitiu ter dados concretos sobre o percurso que cada unidade produzida fez – o que posteriormente facilitou a segmentação e determinação de pontos críticos neste processo extenso e complexo.

Por fim, e baseado na observação visual das peças que apresentavam traço de fogo, foram determinados alguns defeitos de maquinagem. Destaca-se que as caixas diferenciais usadas nesta fase de recolha pertenciam mais uma vez ao primeiro trimestre e rondavam as 1180 unidades.

4.2.2.1. Estudo da Produção

De forma sucinta, a produção de caixas diferenciais segue um estilo de produção *Pull*. Este sistema de produção implica que os planos e ordens de produção sejam baseados na procura dos clientes⁵. Devido à complexidade do sistema produtivo e respetivos subprocessos, apenas foram contabilizados os dados relativos à montagem da caixa diferencial como produto final.

No Gráfico 4.3, estão representados os dados relativos à produção mensal de caixas diferenciais. Esta produção mensal corresponde ao intervalo de tempo de janeiro de 2022 a março de 2023 – atingindo o valor arredondado de 920 000 caixas produzidas. Denota-se igualmente que foram calculadas as produções médias mensais para os anos referidos anteriormente.

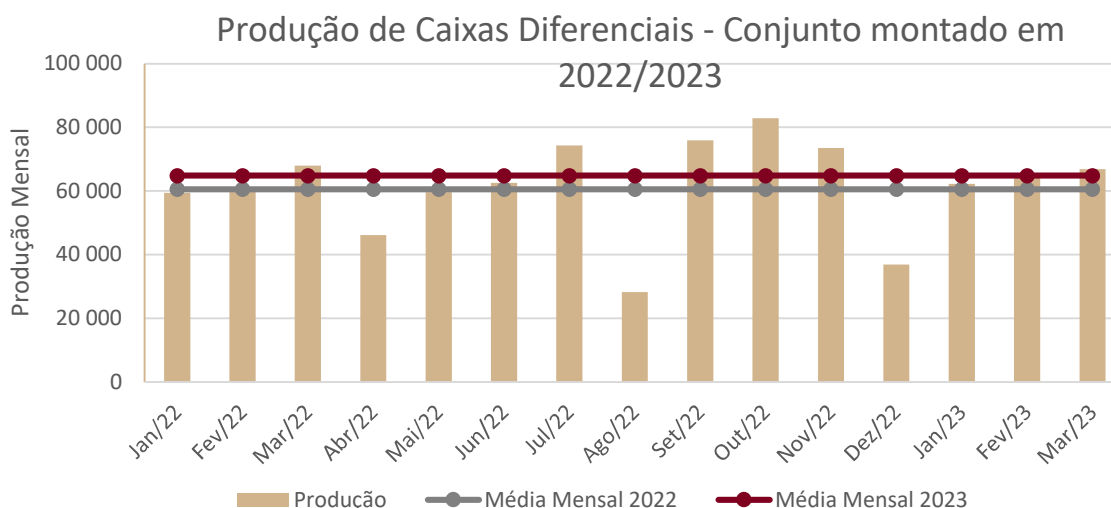


Gráfico 4.3. Produção Mensal e Semanal Média de Caixas Diferenciais Retificadas de jan/2022 – mar/2023

⁵ Os clientes mencionados são clientes internos, neste caso seria o Atelier onde é montada a caixa diferencial no produto final, i.e., caixa de velocidades.

Como já justificado anteriormente, análise terá como ponto de partida os três primeiros meses de 2023. Em adição ao cálculo da produção de caixas diferenciais mensal no período de 2022 e 2023, também foi calculada a média mensal para estes anos. Esta média indica que apesar de apenas se considerarem os três primeiros meses na execução do projeto, não existe grande discrepância no valor médio mensal de produção nos anos de 2022 e 2023. Como adenda, é possível constatar que para os meses em análise – janeiro, fevereiro e março – não ocorre uma grande variação na produção de caixas diferenciais quando comparados os 2 anos.

Posterior ao estudo da produção de caixas diferenciais em termos globais, procedeu-se à segmentação da produção por referência. Esta segmentação irá proporcionar um ponto de vista mais detalhado sobre a produção dentro das famílias de caixas diferenciais que existem atualmente. No Gráfico 4.4 encontra-se disposto o número de caixas diferenciais produzidas nos meses de janeiro, fevereiro e março do presente ano.

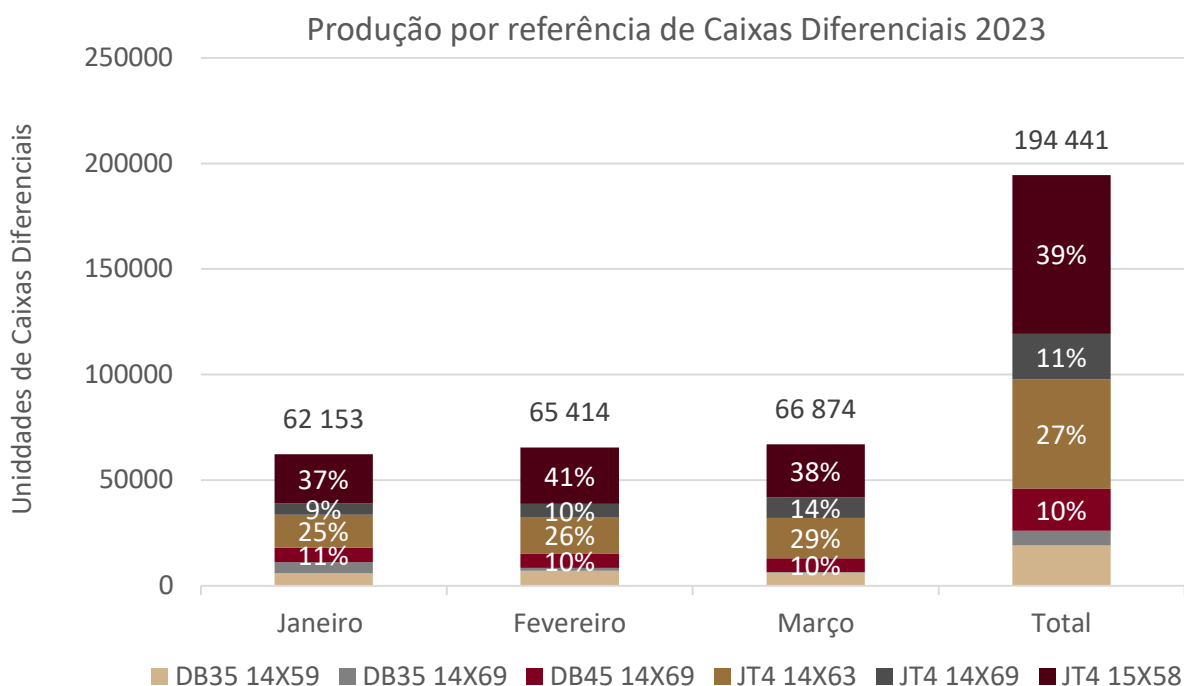


Gráfico 4.4. Produção Mensal de Caixas diferenciais segmentada por referências em 2023

Como é possível constatar, uma grande parte da produção está centrada nas caixas da família JT4, que perfazem cerca de 77% da produção total entre janeiro e fevereiro. Este número é em grande parte devido à referência JT15X58 como se pode comprovar pela observação do gráfico anterior.

4.2.2.2. Relação entre Traço de Fogo e referência da caixa diferencial

Uma outra associação a ser executada neste projeto, foi a relação entre o defeito em estudo e as referências existentes, produzidas no espaço temporal em análise. Desta forma, será possível extrapolar nas próximas fases a possível tendência deste defeito em referências específicas, se assim se der o caso.

Destaca-se a distribuição de traços de fogo entre janeiro e março de 2023, por referência produzida e disposta em PPM – presente no Gráfico 4.5. O uso desta medida – PPM – ocorre devido à disparidade de produção mensal entre as diversas referências, o que permite ter um referencial isento de possíveis enviesamentos causado por esta diferença produtiva mensal.

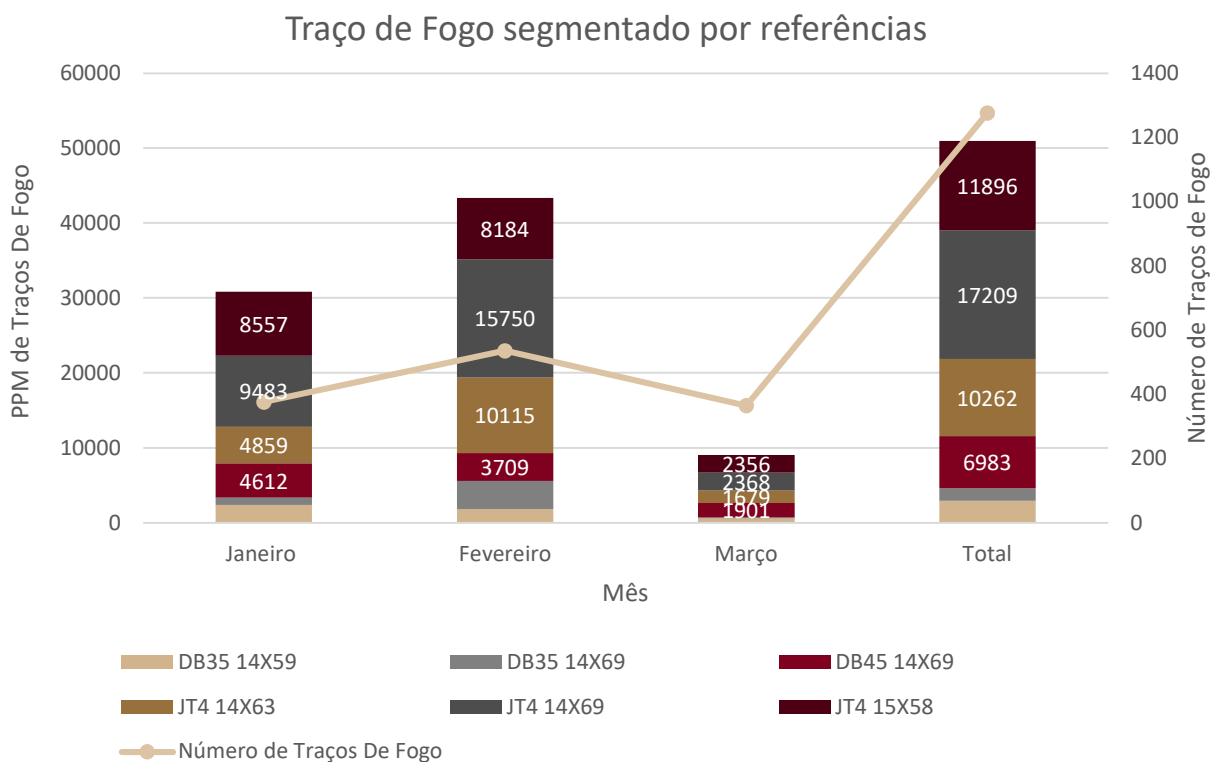


Gráfico 4.5. Número de Traços de Fogo em PPM para os meses de Jan-Mar 2023

Neste gráfico, é possível perceber que existe uma tendência relativamente à família de coroas JT para o aparecimento do Traço de Fogo. Tendo também em conta o ponto de situação calculado na fase anterior – número de traço de fogo indiscriminado por referência em 2023, presente no Gráfico 4.1 – pode-se verificar que a família DB em geral está a amortecer o número total de casos de Traço de fogo em PPM. De forma complementar, as referências conjuntas JT são dadas como as mais problemáticas.

4.2.2.3. Observação de Caixas Diferenciais com Traço de Fogo

Em paralelo com a recolha de dados relativamente ao histórico do percurso das caixas diferenciais no processo industrial, foram registados algumas não conformidades presentes nas caixas diferenciais – associados sobretudo ao subprocesso de maquinação da coroa ainda em peça branca.

Tabela 4.2. Não conformidades visuais observadas

Subprocesso	Natureza do Defeito	OP	Meio de Identificação	Nomenclatura	Impacto no aparecimento de TF
Maquinação Da Coroa - Peça Branca	Marca de Ferramenta	150	Visual	OP150F	5
	Marcas de Chanfrenagem	160	Visual	OP160MC	2
	Marcas de Shaving	170	Visual	OP170MS	3
	Chanfro NOK	160	Visual	OP160CNOK	1
	Coroas Recuperadas	-	Visual	R	2
	Limalha	150	Visual	OP150L	6
Montagem Caixa Diferencial	Reprensagem	130	Datamatrix	OP130P	4
	Retificação Dupla	190	Datamatrix	OP190R	1

Na Tabela 4.2, estão destacadas as não conformidades observadas. Denota-se que existem algumas destas que não são possíveis verificar em termos visuais. Para tal, recorreu-se à utilização do código datamatrix de cada caixa diferencial. A evidência fotográfica destas não conformidades e forma tomada pelas mesmas, encontra-se no Anexo C – Não conformidades Observadas Nas Caixas Diferenciais

Posto isto, o passo seguinte foi uma sessão de *brainstorming* com a equipa de forma a tentar quantificar o impacto de cada uma destas não conformidades na potencialização do traço de fogo. Para tal, usou-se uma escala de likert, e cruzou-se com a frequência – presente no Gráfico 4.6.

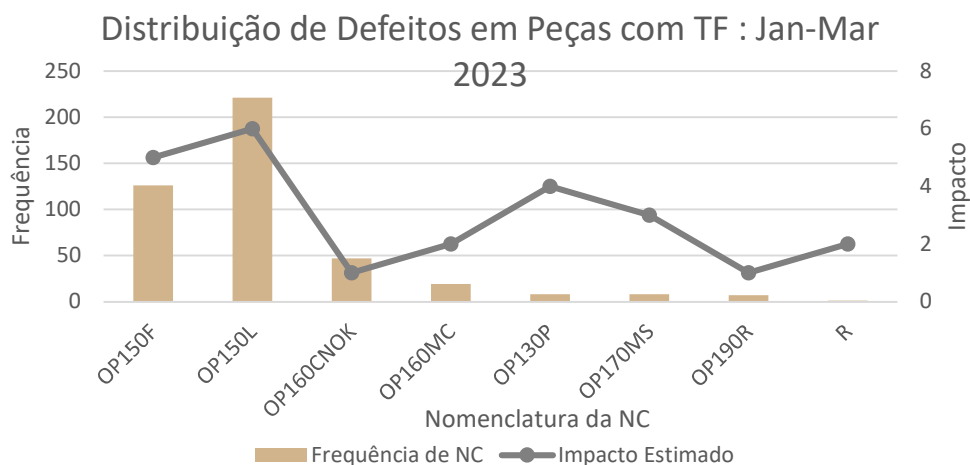


Gráfico 4.6. Distribuição de defeitos presentes nas peças com Traço de Fogo

Do cruzamento destes dois tipos de avaliação – a frequência absoluta de peças com uma certa não conformidade e a importância relativa da mesma no aparecimento de traço de fogo – destacam-se as não conformidades observáveis OP150F e OP150L. Estas duas não conformidades observadas serão, posteriormente, alvos de uma análise minuciosa.

4.2.3. M2 - 2ª Fase de Recolha

A segunda parte do levantamento de dados teve como condição necessária e pré-existente, a criação do histórico de rastreabilidade mencionado anteriormente. Com esta visão macro do processo, e identificados os subprocessos críticos, foi possível executar uma recolha de dados mais restrita.

Esta segunda recolha teve como ponto de partida as linhas de maquinação do primeiro subprocesso – maquinação da coroa em peça branca. Os dados recolhidos são relativos aos parâmetros que estão presentes em cada operação e têm como base a produção de coroas nos meses de janeiro a março de 2023. Esta recolha de dados foi possível devido aos mecanismos de controlo que existem nas linhas de maquinação de coroa – mais especificamente o que é denominado como exameca - Medições Periódicas e Freqüenciais.

Na Tabela 4.3, encontram-se todas as operações relativas ao primeiro subprocesso da coroa e respetivos parâmetros avaliados.

Tabela 4.3. Parâmetros de Maquinação no subprocesso de maquinação da coroa – peça branca JT15X58

OP	Fator	Descrição	Lim. Controlo Inf. [mm]	Lim. Controlo Sup. [mm]
110	110BS01	Batimento face dentado lado soldadura	0	0,3
110	110D02	Diametro exterior (15x58)	189,87	190,07
120	120BS01	Batimento da face dentado lado jante (lado apoio cx diferencial)	0	0,07
120	120C02	Altura face dentado lado apoio cx diferencial	29,43	29,63
120	120CT01	Concentricidade diametro interior	0	0,07
140	140C01	Altura entre faces dentado	28,535	28,625
140	140C02	Posição face apoio BDIFF	6,7	6,86
140	140C05	Posição face interna lado soldadura	29,92	30,02
140	140BS01	Batimento face dentado lado soldadura	0	0,025
140	140CR01	Circularidade diametro interior	0	0,03
140	140CT01	Concentricidade diametro interior	0	0,05
140	140CY01	Cilindricidade diametro interior	0	0,03

OP	Fator	Descrição	Lim. Controle Inf. [mm]	Lim. Controle Sup. [mm]
140	140D01	Diametro Interior	110,21	110,27
140	140PE01	Perpendicularidade diametro interior	0	0,015
150	150C01	Raio sob Esfera 15x58	91,3	91,36
150	150C04	Raio Cabeça do Dente 15x58	94,75	94,97
150	150C07	Raio Fundo Dente 15x58	86,79	87,01
170	170C01	Raio sob Esfera 15x58	91,255	91,295
170	170CT01	Concentricidade do dentado	0	0,04

Como já supramencionado, as medições anteriores pertencem ao primeiro trimestre do ano, existindo uma média de cerca de 900 medições por cada fator enunciado na tabela anterior.

4.2.4. Indicadores do Processo

Depois de recolhidos todos os dados pertencentes ao processo inteiro de produção da caixa diferencial, o próximo passo consiste na determinação e cálculo de um conjunto de indicadores. Este conjunto de indicadores irá permitir avaliar o sistema no estado atual numa primeira instância, em várias dimensões. Complementarmente, este agregado de métricas possibilitará a quantificação do sistema com a evolução deste ao longo do tempo, e será uma importante forma de avaliar a eficácia do ciclo DMAIC após este se encontrar terminado.

Na Tabela 4.4, podemos observar os valores dos indicadores do processo para o estado atual – meses de janeiro e fevereiro de 2023. Esta tabela encontra-se seguida de uma breve explicação destes indicadores, salientando a importância do indicador a calcular, bem como o porquê da escolha.

Tabela 4.4. Indicadores relativos ao total dos meses de janeiro e fevereiro

Indicadores relativos aos Meses de Janeiro e Fevereiro Agregados				
Impactos Operacionais (Perda de RO)		Impacto Financeiro	Traço De Fogo	Nível de σ do Processo
Peça Branca	Peça Negra + Montagem	Sucata €	PPM	
89 Horas	85 Horas	31 920,00 €	7150	3,95
6,85%	6,58%			

Dos indicadores que estão dispostos na tabela anterior, destacam-se os impactos operacionais e financeiros – uma vez que as outras duas métricas se encontram sintetizadas na secção teórica.

No que concerne a determinação do RO, este representa o rácio entre o tempo despendido na produção e o tempo total disponível dedicado à produção. No presente caso, a perda de RO segue o raciocínio precedente, sendo este indicador relativo ao tempo em que apesar de ter existido produção, foi uma produção onde o produto final não foi aceite devido ao defeito de traço de fogo. Quanto ao impacto financeiro, este contempla o custo de produção da caixa diferencial. Este custo ronda os 35€ por unidade e apenas foram contabilizadas as caixas diferenciais de janeiro e fevereiro.

4.3. Analyse

A terceira etapa do ciclo DMAIC e, conseqüentemente, a mais demorada, consistiu na análise dos dados recolhidos anteriormente. Esta fase pode ser dividida em 3 grandes secções que se complementam e integram.

O capítulo inicia-se com a caracterização do traço de fogo e a sua presença nas caixas diferenciais. Essa caracterização procura abranger o maior número possível de fatores. Através desta análise introdutória, é possível determinar e segmentar quais os subprocessos produtivos serão mais críticos na propagação e causa do traço de fogo. Esta análise foi possível devido aos dados recolhidos em M1 - 1ª Fase de Recolha:

Após as conclusões anteriores, o subprocesso relacionado à maquinação da coroa em peça branca foi analisado. Focando especificamente nessa área de produção, nas respetivas linhas e operações a serem investigadas, foi construído um diagrama de Ishikawa. Para concluir, foram determinados os fatores críticos de qualidade com base nos parâmetros de maquinação para cada operação do subprocesso já mencionado anteriormente. Esta determinação dos fatores críticos de qualidade foi possível através dos dados recolhidos em M2 - 2ª Fase de Recolha.

4.3.1. Distribuição de Traços de Fogo ao longo do processo industrial

A análise primária a efetuar consistiu na reconstituição de todo o processo industrial relativamente às peças que apresentavam traço de fogo. Esta reconstituição foi possível através da marcação alfanumérica das peças e do código datamatrix, o que forneceu uma visão geral das linhas e operações que cada peça sofreu. No total existiu o registo de 1280 casos de traço

de fogo, pertencentes ao primeiro trimestre. Uma grande componente da fase de análise teve como base esta amostra de caixas diferenciais.

O alvo inicial incidiu sobre a maquinação da coroa em peça branca, isto é, o subprocesso primário do processo industrial completo. Com a extração dos dados já feita anteriormente, foi possível efetuar uma análise de pareto às linhas de maquinação de coroas. No Gráfico 4.7, encontra-se disposto a distribuição de Traços de fogo pelas linhas de maquinação.

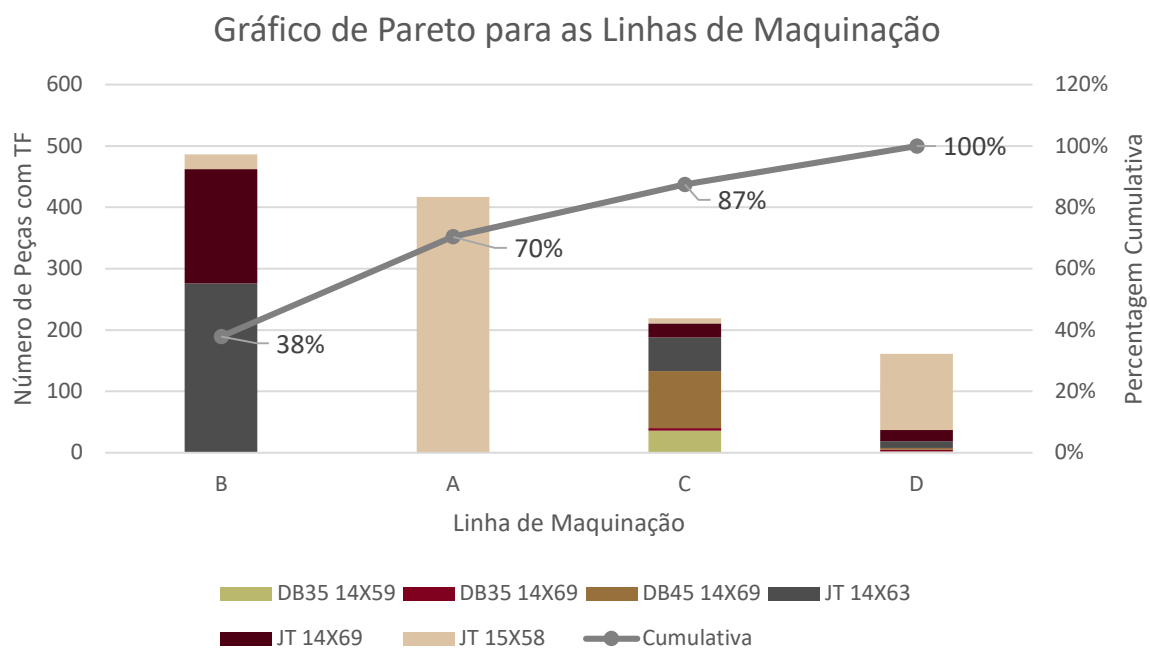


Gráfico 4.7. Análise de Pareto quanto ao número de Traços de Fogo e linhas de maquinação Jan-Mar 2023

Após a análise inicial do gráfico, é possível verificar que a ocorrência de Traço de Fogo nas caixas diferenciais tem uma predominância de peças que tiveram a sua maquinação iniciada nas linhas A e B. Ainda é possível extrair que apenas estas duas linhas representam cerca de 70% do número total de peças com este defeito no intervalo de tempo de janeiro a março de 2023. Complementa-se a análise anterior com a proposição de que estas duas linhas são as mais antigas, tal como as máquinas presentes nas mesmas, sendo assim uma possível causa para esta disparidade entre linhas. Como ponto adicional, destaca-se que todas as coroas JT 15X58 que estão afetas à linha D, têm a OP150 e consecutivas operações feitas na linha A.

Analogamente, executou-se uma análise de pareto para os outros 2 grandes subprocessos de maquinação da caixa diferencial: Torneamento Duro e Soldadura da Caixa Diferencial. Na área do torneamento duro, os dados relativos a este estão expostos no Gráfico 4.8.

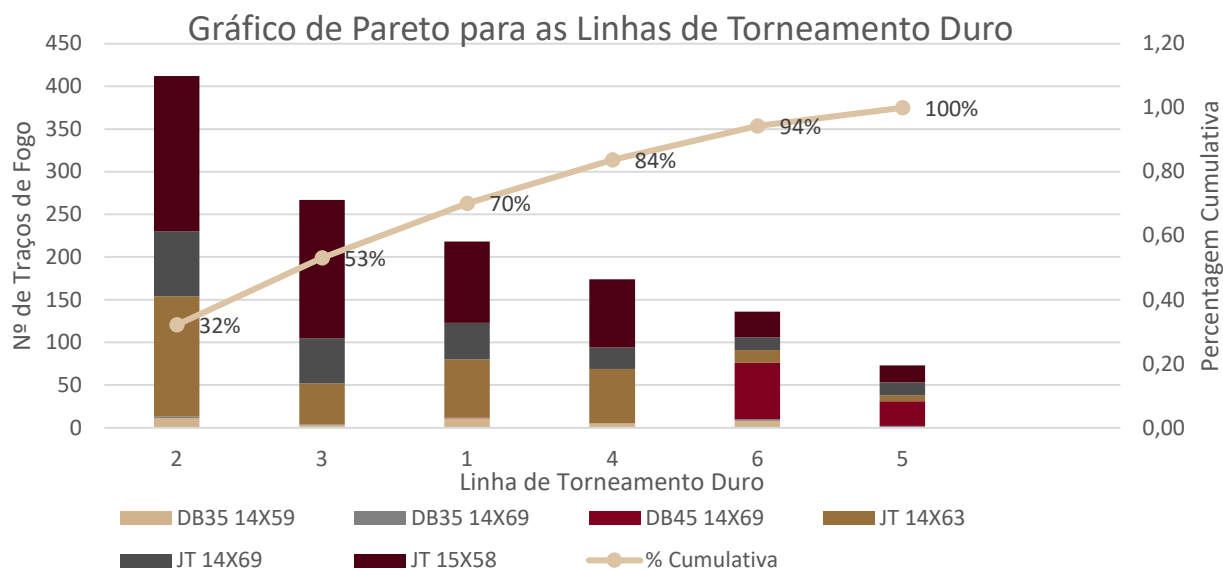


Gráfico 4.8. Análise de Pareto quanto ao número de Traços de Fogo e linhas de Torneamento Duro Jan-Mar 2023

Neste Gráfico 4.8, encontra-se uma distribuição menos iníqua relativamente às linhas de maquinação. Cerca de 80% das peças que têm Traço de Fogo passou pelas linhas 1,2,3 e 4 que estão mais uma vez afetas à produção das caixas JT. O resto da distribuição pertencente às linhas 5 e 6 são caracterizadas pela produção predominante de caixas DB.

Por fim, foi executada uma análise de pareto para as linhas de retificação da caixa diferencial já montada – processo pertencente ao subprocesso de soldadura da caixa diferencial e onde se pode dar o defeito de traço de fogo. Esta distribuição encontra-se no Gráfico 4.9.

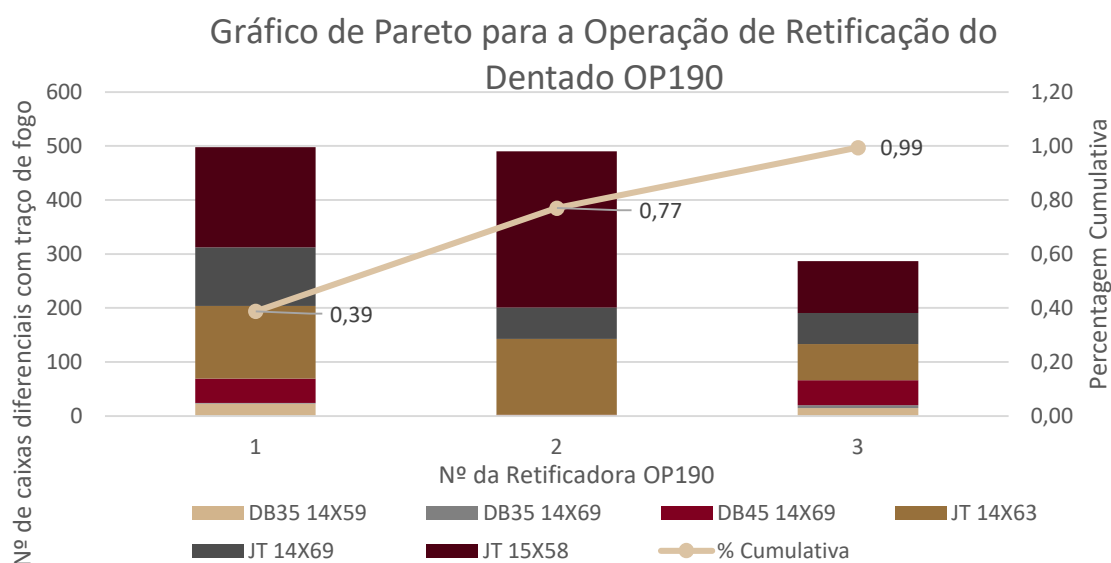


Gráfico 4.9. Análise de Pareto quanto ao número de Traços de Fogo e linhas de Retificação Jan-Mar 2023

Contrariamente ao que acontece nos subprocessos anteriores, existe uma menor discrepância relativas à relação entre as retificadoras e caixas diferenciais registadas com o defeito de traço de fogo.

De forma a concluir, os próximos passos da fase de análise tiveram como ponto de partida as linhas de maquinação de coroas em peça branca. Esta escolha de subprocesso teve como por base a sobreposição entre família de caixas de velocidades mais problemática e linha de produção das mesmas mais penalizantes – linhas A e B.

Além disto, como se trata de um processo bastante longo, este subprocesso coincide com o ponto de partida da manufatura da caixa diferencial. Estes factos tornam mais eficiente e sensata uma abordagem do início ao fim do processo produtivo ao invés de adotar um sentido de reengenharia do processo.

4.3.2. Diagrama de Causa-Efeito

Com a delimitação dos pontos críticos nos subprocessos, e aprofundamento mais detalhado do processo produtivo, foi construído um diagrama de Ishikawa. Na Figura 4.4, está representado o diagrama de Ishikawa. O recurso a este diagrama tem como objetivo a identificação dos fatores chave que influenciam o traço de fogo. A construção deste diagrama foi feita em conjunto com a equipa de trabalho através de sessões de *brainstorming* e *gemba walks*.

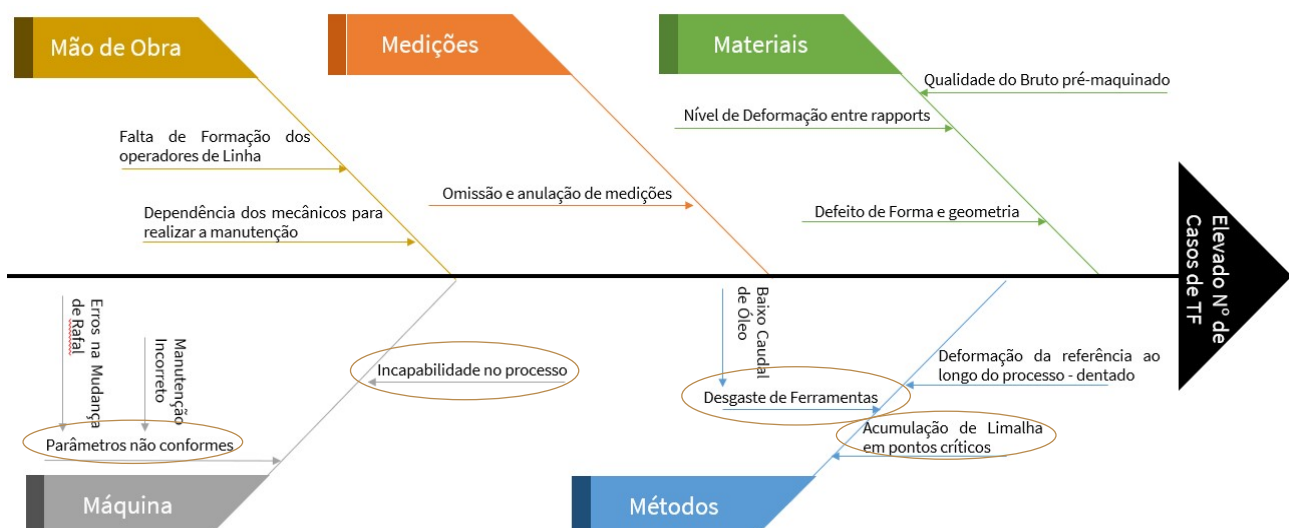


Figura 4.4. Diagrama de Ishikawa

Neste diagrama foi exercida uma divisão entre 5 grandes pontos: Mão de obra, Medições, Materiais, Máquina e Métodos. Segue-se uma explicação sucinta de cada um destes

pontos e possíveis causas intrínsecas. Em sintonia com a secção anterior, grande parte do *design* deste diagrama e diagnóstico das possíveis causas teve como base central as linhas de maquinagem de coroa – peça branca.

No que toca a mão de obra, destaca-se a falta de experiência e formação dos operadores de linha. Esta lacuna relacionada com a falta de conhecimento faz com que muitas das vezes as máquinas e respetivos elementos sejam alterados *ad hock* no caso de existirem não conformidades. Esta causa está presente em todo o processo, no entanto é mais fácil a alteração de parâmetros de maquinagem no subprocesso da maquinagem da coroa uma vez que este é o menos automatizado – quando comparado com o Torneamento Duro ou todo o processo de montagem da caixa diferencial.

Ainda no setor da mão de obra, a dependência de mecânicos para verificar as máquinas e respetivas operações é relevante. Prova disto, é que ao longo do estudo, os planos de manutenção preventiva eram algumas vezes adiados ou apenas executados parcialmente. Como consequência, algumas ações de manutenção como a verificação de geometria e lubrificação nas operações de maquinagem não se encontram no nível requerido – em especial quando acontece a mudança de referência a produzir.

As causas associadas ao fator máquina estão sobretudo articuladas com a existência de parâmetros não conformes. Estes parâmetros posteriormente irão causar defeitos de forma ou geometria, o que influenciará o aparecimento do traço de fogo no fim de processo. Em conjunto vigora a incapacidade do processo relativa a alguns destes parâmetros que afetam e provocam este defeito. Destaca-se que em sinergia com o ponto anterior – mão de obra – as derivas das máquinas estão muitas das vezes associadas à manutenção incorreta, ou ausência da mesma, e aos erros na mudança de referência a produzir.

No que respeita os métodos, destaca-se a acumulação de limalhas em pontos críticos e o desgaste das ferramentas, em especial da ferramenta de talhagem da OP150. Por fim, associado ao processo industrial, existe a deformação nas referências produzidas. Como consequência existe uma flexão de toda caixa diferencial, fazendo com que um dos flancos fique com um défice de material na operação de retificação.

4.3.3. Fatores Críticos Para a Qualidade

Numa perspetiva posterior à análise de Ishikawa, procedeu-se à análise dos dados recolhidos na segunda parte do plano de medições. Estes dados correspondem aos parâmetros de maquinação da linha A que se encontra afetada à produção constante da referência JT 15X58.

A razão principal para esta análise direcionada aos parâmetros de maquinação da linha A é a determinação dos fatores críticos para a qualidade. De forma sucinta, os fatores críticos para a qualidade representam quais as variáveis em questão que provocam o defeito final – traço de fogo na presente situação.

Na Tabela 4.5, encontram-se os parâmetros que são medidos e avaliados durante todas as operações da linha A. Estes parâmetros, representam o conjunto inicial da análise relativa à determinação dos fatores críticos da qualidade.

Tabela 4.5. Parâmetros de Maquinação no subprocesso de maquinação da coroa em peça branca - Linha A

OP	Fator	Descrição	Lim. Controlo Inf. [mm]	Lim. Controlo Sup. [mm]
110	110BS01	Batimento face dentado lado soldadura	0	0,3
110	110D02	Diametro exterior (15x58)	189,87	190,07
120	120BS01	Batimento da face dentado lado jante (lado apoio cx diferencial)	0	0,07
120	120C02	Altura face dentado lado apoio cx diferencial	29,43	29,63
120	120CT01	Concetricidade diametro interior	0	0,07
140	140C01	Altura entre faces dentado	28,535	28,625
140	140C02	Posição face apoio BDIFF	6,7	6,86
140	140C05	Posição face interna lado soldadura	29,92	30,02
140	140BS01	Batimento face dentado lado soldadura	0	0,025
140	140CR01	Circularidade diametro interior	0	0,03
140	140CT01	Concetricidade diametro interior	0	0,05
140	140CY01	Cilindricidade diametro interior	0	0,03
140	140D01	Diametro Interior	110,21	110,27
140	140PE01	Perpendicularidade diametro interior	0	0,015
150	150C01	Raio sob Esfera 15x58	91,3	91,36
150	150C04	Raio Cabeça do Dente 15x58	94,75	94,97
150	150C07	Raio Fundo Dente 15x58	86,79	87,01
170	170C01	Raio sob Esfera 15x58	91,255	91,295
170	170CT01	Concetricidade do dentado	0	0,04

Após determinado o conjunto inicial de fatores candidatos, delimitaram-se quais os dias de produção da coroa em que existiu maior número de traços de fogo. Para tal, recorreu-se à marcação alfanumérica – associada às linhas de maquinação das coroas.

No Gráfico 4.10, encontram-se os dias em que o número de caixas diferenciais com Traço de fogo foi acima da média relativa ao intervalo de janeiro a março. Estes dias tal como mencionado, estão afetos à maquinação da coroa em peça branca, exclusivamente da linha A.

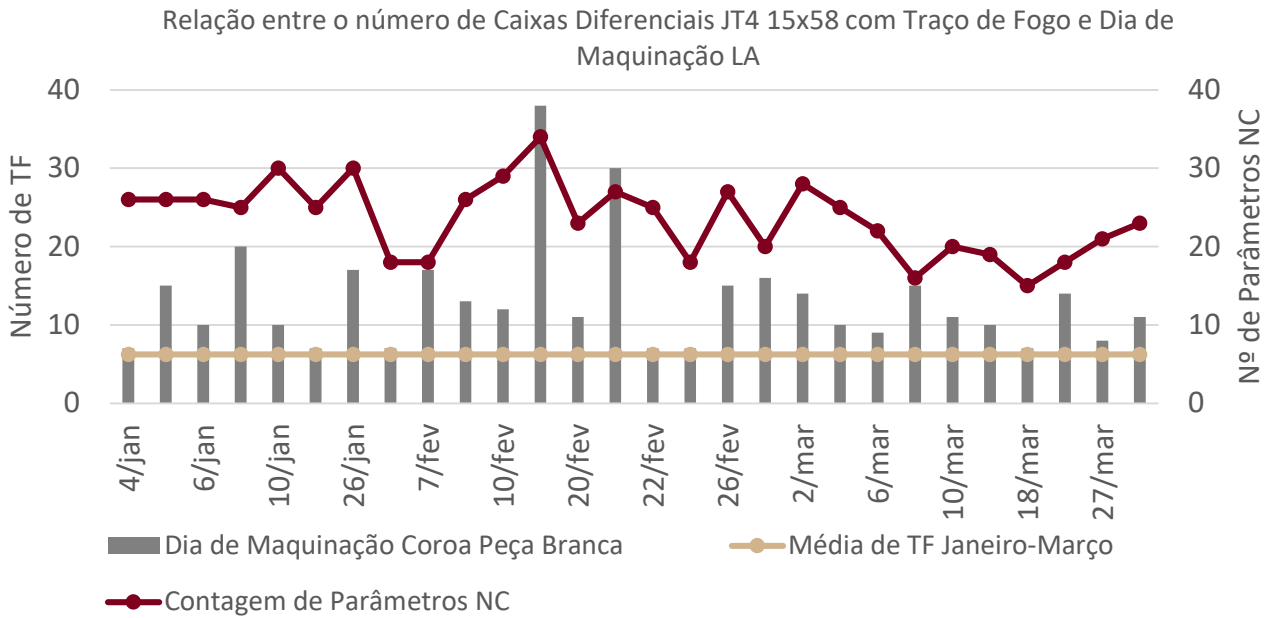


Gráfico 4.10. Distribuição do número de casos de Traço de Fogo na Linha A

Com a determinação das datas em que existiu um número de traço de fogo acima da média para a linha A, observaram-se os parâmetros de maquinação para estes mesmos dias. Esta observação e cruzamento entre os parâmetros de maquinação, teve como base a contagem de medidas fora dos limites de tolerância.

Como resultado desta abordagem, e após uma análise de pareto, surgiram os parâmetros associados às operações que serão considerados como fatores críticos para a qualidade. Estes encontram-se expostos no Gráfico 4.11, e recorrendo à tabela anterior, é comprovável que estes se encontram associados às operações 120, 140 e 170.

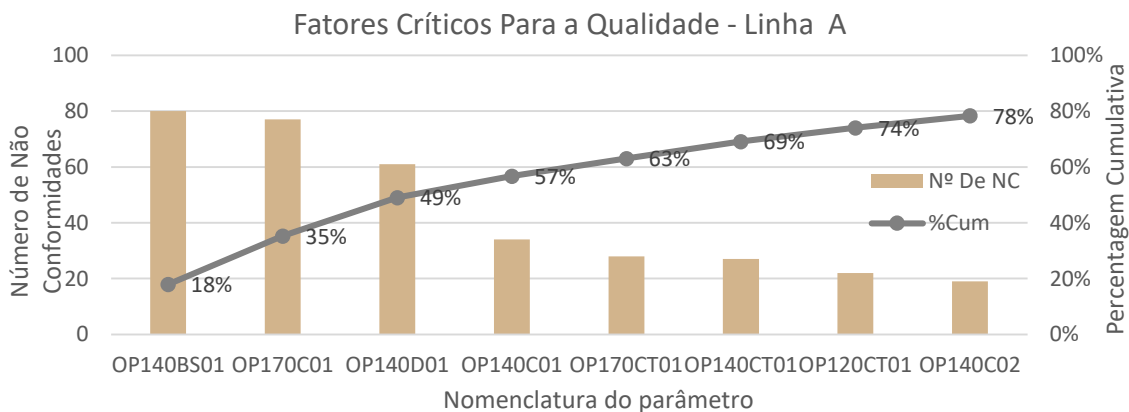


Gráfico 4.11. Análise de pareto aos Fatores Críticos da Qualidade

4.3.4. Análise de Defeitos Observados nas Caixas Diferenciais

Numa fase analítica posterior, foram analisados os defeitos – maioritariamente visuais – observados nas caixas diferenciais. Estes encontram-se já quantificados no Gráfico 4.6 como resultado da fase de medição anterior. Com a identificação e uma quantificação primária já desempenhada, o próximo passo consistiu na disposição destes defeitos numa matriz esforço - impacto.

A utilização desta ferramenta em conjunto com sessões de brainstorming permitiu analisar e quantificar com um carácter bidimensional os defeitos e não conformidades observadas. Esta matriz esforço-impacto encontra-se representada na Figura 4.5.



Figura 4.5. Matriz Esforço – Impacto para as não conformidades observadas

Tendo como base este referencial, foram seleccionadas as não conformidades OP150L e OP150F para serem alvo de uma análise mais profunda. Tais não conformidades

estão associadas ao subprocesso de maquinagem da coroa em peça branca. Em seguida é apresentada uma breve explicação individual de como estes fatores podem potencializar e contribuir para o defeito de Traço de Fogo.

- **OP150L – Limalha proveniente da OP150 Talhagem**

A presença de limalha nas caixas que apresentavam traço de fogo é associada à OP150. Com o intuito de fornecer uma melhor visão do caso em questão, um exemplo da identificação deste problema está presente na Figura 4.6. A observação da presença de limalha é possível através das marcas que são deixadas na caixa diferencial, como visto na figura mencionada anteriormente.



Figura 4.6. Caixa diferencial com marca de limalha na face

Esta marca é devido à prensagem que ocorre na operação 150. Nesta operação são talhadas 3 coroas em conjunto e existe a prensagem destas. Com a presença de limalha entre estas peças, a orientação destas irá variar, pelo que poderá existir uma inclinação das mesmas. Como consequência irá existir uma alteração no ângulo de abertura do dentado e uma marca distinta na face das peças. Uma representação sólida desta explicação encontra-se na Figura 4.7.



Figura 4.7. (a) Operação 150 sem a presença de limalha; (b) Operação 150 com presença de limalha

De forma a finalizar este tópico relacionado com a presença de limalha, procedeu-se à determinação das linhas de maquinaria que apresentavam um maior número de limalhas. Através do Gráfico 4.12, podemos inferir que mais uma vez, a linha A se encontra com um maior número de casos de limalha.

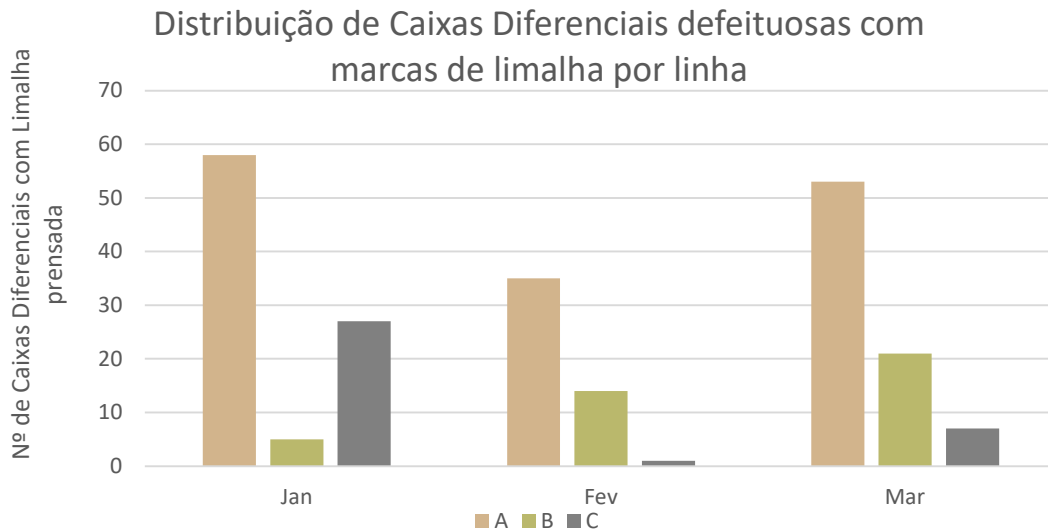


Gráfico 4.12. Distribuição dos casos de limalha por linha de maquinaria peça branca Jan-Mar 2023

Com a identificação das linhas onde existia uma maior proveniência de limalhas, foram determinadas as causas para tal através da análise dos 5 Porquês. Com esta análise pretendeu-se esclarecer quais seriam as causas para a prensagem de limalhas nas peças da Linha A – presente na Figura 4.8.

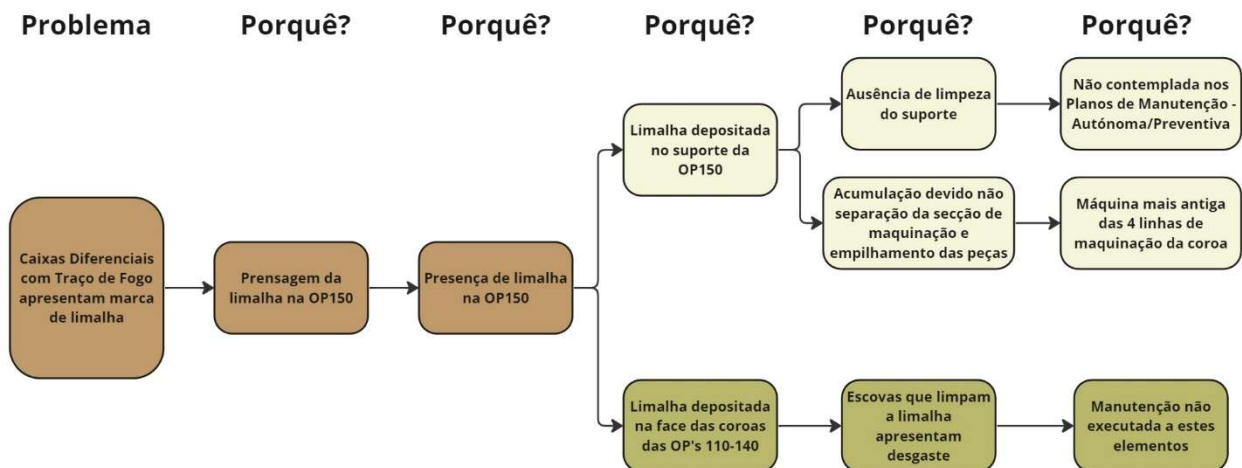


Figura 4.8. Análise dos 5 porquê relativa à presença de limalhas nas coroas da Linha A

Desta ferramenta foi identificado como causa primária o desgaste acentuado das escovas à entrada da OP150. Estas escovas têm como papel a limpeza das limalhas na face das coroas que podem surgir das operações de torneamento anteriores. Em paralelo, foi observado

que o suporte onde são empilhadas as 3 peças a maquinar estava circundado de limalhas de maquinação. Juntamente com este ponto, a máquina responsável pela OP150 na linha A em contraste com as outras linhas, não tem uma divisão que separe a zona de maquinação e zona de empilhamento.

A existência e causa dos fatores mencionados anteriormente, são resultado de os planos de manutenção não contemplarem a mudança de escovas, ou devido à ausência de ações de manutenção.

- **OP150F**

A última não conformidade detetada como resultado da observação de peças com traço de fogo está igualmente relacionada com a OP150. Esta não conformidade é inerente à ferramenta de talhagem e ao desgaste da mesma. O efeito provocado por existir uma ferramenta de talhagem é que se esta estiver com dentes danificados, irá retirar mais material do que necessário. Além de existir esta possibilidade do dentado ficar com um défice de material, as marcas de talhagem apresentam-se como irregulares.

Como já denotado, o traço de fogo é caracterizado fisicamente pela ausência de material no dentado da coroa. Posto isto, a existência de uma ferramenta na operação de talhagem que retire mais material do que necessário irá ser uma possível variável indutora e agravante na ocorrência de traço de fogo.

Com intuito de fornecer uma descrição visual relativamente a esta não conformidade, apresenta-se na Figura 4.9.

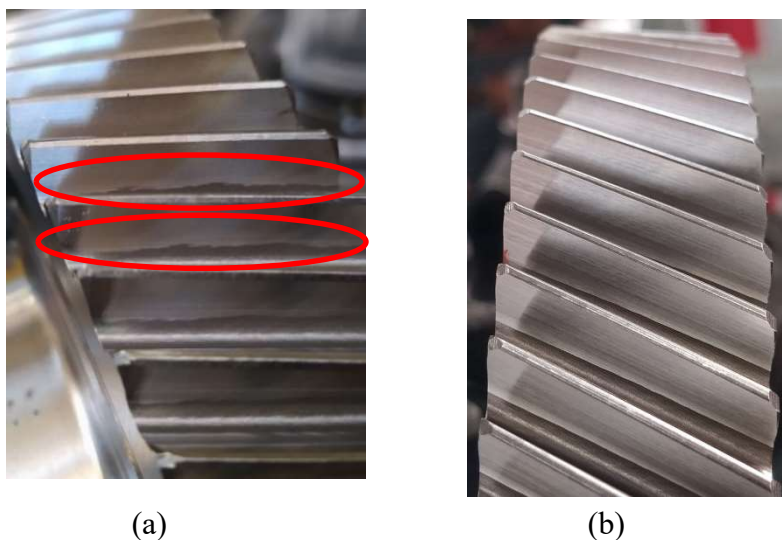


Figura 4.9. (a) Coroa que apresenta marcas de ferramenta da OP150; (b) Coroa Conforme

Com uma aproximação análoga à que foi desempenhada na questão anterior relativa à presença de limalhas, foram determinadas quais as linhas mais críticas quanto a este problema. Numa perspetiva de linhas de coroa, pode-se averiguar no Gráfico 4.13 que as linhas C e A são respetivamente as mais penalizantes neste aspeto no período que engloba o primeiro trimestre de produção.

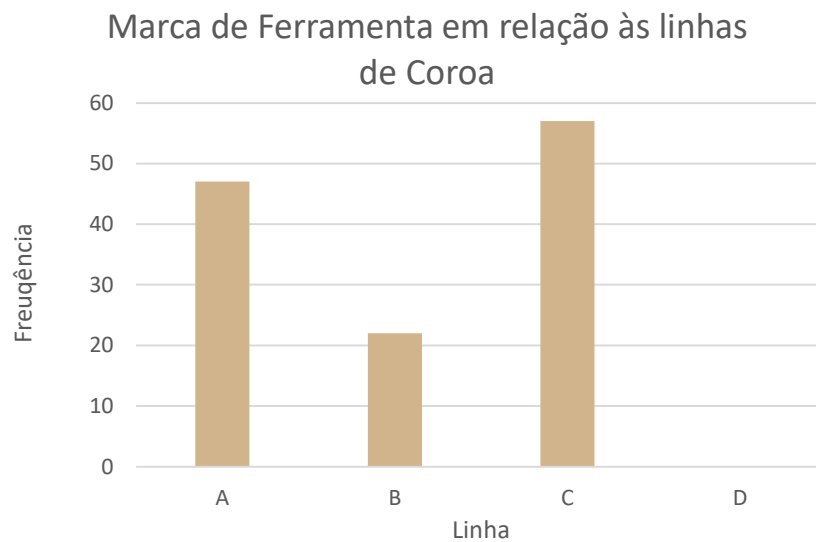


Gráfico 4.13. Distribuição da presença de marcas de ferramenta nas linhas de coroa Jan-Mar 2023

Mais uma vez recorreu-se à aplicação dos 5 Porquês de forma a tentar determinar as causas raízes para a existência deste problema. Com um pouco mais de dificuldade em comparação com o problema da marca de limalha, uma vez que são de naturezas diferentes, surge a Figura 4.10.

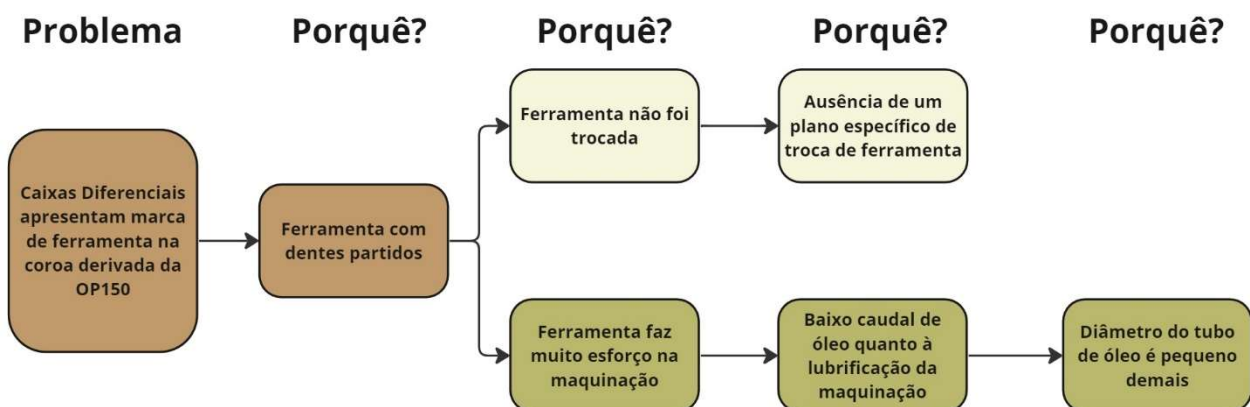


Figura 4.10. Análise dos 5 porquês relativa às marcas da ferramenta da OP150 Talhagem, na Linha A e C

Nesta formulação da análise dos 5 porquês, em paralelo com uma visita às linhas em questão, foram formuladas as premissas quanto às causas raiz das marcas de ferramenta na OP150. Estas baseiam-se sobretudo na ausência de um plano específico de troca de ferramenta

e no caudal de óleo que é insuficiente na maquinação. Esta questão de o caudal de óleo⁶ ser insuficiente devido ao diâmetro da tubagem em questão, está apenas presente na linha A e na linha C – tal deve-se a estas serem alimentadas pela mesma tubagem.

4.4. Improve

Com todas as etapas anteriores já concluídas, a fase de melhoria pode entrar em curso, através da estrutura e aplicação de medidas de melhoria nos pontos críticos já localizados. Com o objetivo de esquematizar os pontos críticos já apontados, e assim fazer a ligação entre esta fase e anterior, foi elaborada a Figura 4.11.

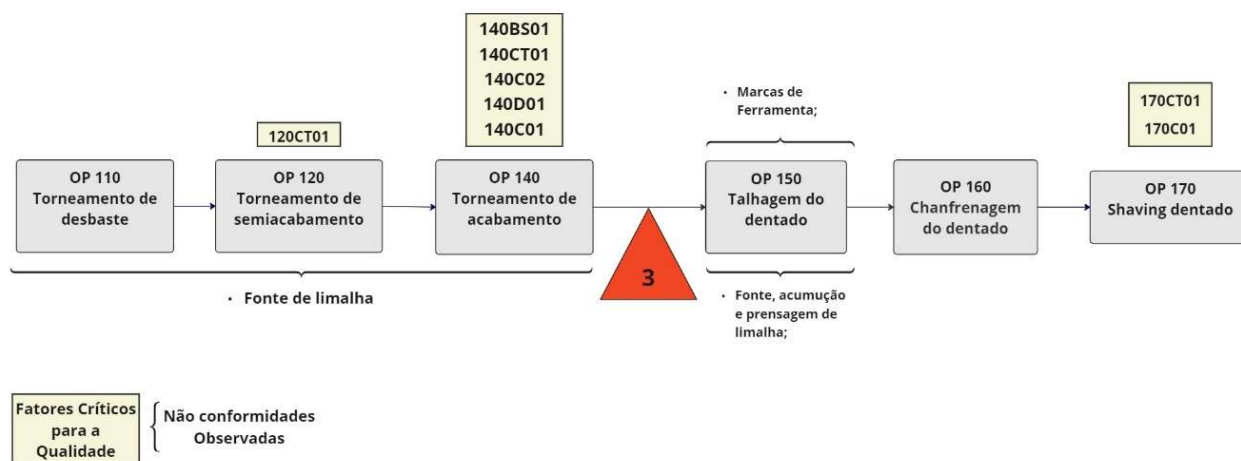


Figura 4.11. Síntese dos fatores críticos de qualidade e Não Conformidades para as linhas de Maquinação de coroa

Depois de expostos os fatores a serem avaliados, procedeu-se à formulação das propostas de melhoria. Estas propostas de melhoria podem ser divididas em 2 grandes conjuntos: fatores críticos para a qualidade e posteriormente, as não conformidades.

4.4.1. Ações de Melhoria – Fatores Críticos de Qualidade

Quanto aos fatores críticos da qualidade, as ações de melhoria tiveram como foco uma das linhas mais problemáticas – linha A. Com a enunciação dos fatores críticos, as ações de melhoria foram segmentadas por operações. Numa fase inicial, as propostas de melhoria tinham como objetivo a verificação dos básicos da maquinação em relação aos fatores críticos.

⁶ Esta questão do caudal de óleo na Linha C e na Linha A, também fez com que se verificasse que a ferramenta de talhagem tivesse alguma dificuldade na abertura das coroas. Em especial devido à emissão de gases quando comparado com a Linha B onde também se apresentavam maiores níveis de lubrificação.

Esta verificação ocorreu principalmente na OP120 da linha A, uma vez que existiram constrangimentos quanto à disponibilidade das equipas de manutenção e progresso contínuo para intervir na linha ao longo do estágio. Como forma de síntese das ações tomadas neste tópico dos fatores críticos, apresenta-se a Tabela 4.6.

Tabela 4.6. Ações estipuladas relativamente aos Fatores Críticos de Qualidade

Cód.	OP/ Linha	Fator Crítico De Qualidade	Autor	Ações a Realizar	Avanço	Data de Fecho	Obs.
II.1	OP120 Linha A	120CT01	Equipa 6 σ	Verificar Geometria; Executar KM0;	100%	S22	Substituição de Mordentes
II.2	OP140 Linha A	140BS01; 140CT01; 140D01; 140C01; 140C02	Equipa 6 σ	Verificar eletroárvore; Verificar Geometria;	0%	-	
II.3	OP170 Linha A	OP170C01	Equipa 6 σ	Verificar Geometria; Executar KM0;	0%	-	

Com a execução destas ações de melhoria, existiram algumas peças e suportes que tiveram de ser substituídos. Além desta substituição, esta medida dedicada à verificação das operações que representam os fatores críticos irá proporcionar a possibilidade de criar um histórico relativamente às operações e intervenções.

Na ação II.1, através da verificação da geometria da máquina foram substituídos os mordentes devido ao desgaste dos mesmos. Estes componentes são responsáveis por fixar a peça na operação de torneamento e encontram-se relacionados com o fator crítico 120CT01.

Por questões associadas à impossibilidade de parar a produção e disponibilidade das equipas de intervenção, não foi possível a aplicação das medidas II.2 e II.3 no período relativo ao estágio curricular.

4.4.2. Ações de Melhoria – Não Conformidades Observadas

Numa fase adjacente à anterior, foram igualmente estruturadas e planeadas ações de melhoria para as não conformidades observadas. Estas ações em relação às não conformidades observadas têm como intuito fazer uma redução marginal no número de traço de fogo em PPM.

De forma semelhante às ações de melhoria anteriores, as intervenções feitas basearam-se na etapa de análise do ciclo DMAIC – especialmente a análise dos 5 Porquês - e

incidiram sobretudo sobre 2 fatores: a existência de limalha e marcas de ferramenta na OP150. Como estas ações se apresentavam como menos complexas que as anteriores, os alvos das mesmas foram as linhas de maquinaria A e C.

Na Tabela 4.7, encontram-se expostas as intervenções planeadas e informações relativas às mesmas.

Tabela 4.7. Ações estipuladas relativas à presença de Não Conformidade

Código	OP/ Linha	Âmbito	Autor	Ações a Realizar	Avanço	Data de Fecho	Obs.
I2.1	OP110-140 Linha A	Fontes de Limalha na face das coroas	Equipa 6σ	Substituição das escovas na OP140	100%	S21	Substituição das escovas que se encontravam desgastadas
I2.2	OP150 Linha A	Presença de limalha na zona de carga	Equipa 6σ	Separação da Zona de maquinaria da zona de carga	100%	S26	Implementação de cortinas que dividem a máquina da OP150 entre as zonas de talhagem e de carga das 3 coroas
I2.3	OP150 Linha A	Presença de limalha na zona de carga	Equipa 6σ	Limpeza do pórtico que executa a carga das coroas	0%	-	-
I2.4	OP150 Linha A/C	Marcas de Ferramenta da Talhagem	Equipa 6σ	Substituição da Tubagem para um diâmetro maior	0%	S34*	-

As medidas já completadas constituem o básico no que concerne a presença e movimentação de limalha ao longo do processo de maquinaria da coroa. A ação denominada como I2.1. teve como objetivo a eliminação de limalha proveniente das operações de torneamento. Com o recurso a escovas à saída de cada operação, espera-se que não exista o transporte de limalha entre operações e esta seja deslocada para fora da superfície da peça.

De forma mais localizada, a ação I2.2 tem como foco a operação 150 – operação onde através da prensagem se dá a marca de limalha nas coroas. Através de uma zona de separação, espera-se que seja possível separar a zona de carga das coroas e o espaço dedicado à maquinaria ou talhagem das mesmas. Com esta divisão pretende-se eliminar acumulação de limalhas no pórtico de carga.

Nesta tabela anterior, é possível verificar que existem ações ainda incompletas. Destaca-se que a ação I2.4, apenas poderá ser aplicado nas semanas de agosto. O motivo para tal é a impossibilidade de parar a produção no período em que foi feita a dissertação – sendo que agosto coincide com a paragem geral. Todas as outras ações foram executadas maioritariamente nos tempos dedicados à manutenção das linhas.

4.5. Controlo

A fase de controlo encerrará a aplicação do ciclo DMAIC em relação ao traço de fogo. É compreendido que esta etapa apesar de ser a última, é essencial para a validação das soluções de melhoria e promover a sustentabilidade das mesmas.

Com o intuito de sintetizar esta fase, foram selecionadas as ações consideradas como fechadas e estipulados mecanismos de controlo. Cingiu-se apenas às ações que se consideravam completas, uma vez que seria difícil prever como monitorizar algo que ainda não foi executado.

Analogamente à fase de melhoria, os mecanismos de controlo são apresentados para os diferentes conjuntos de ações executados, sendo que estes apresentam uma natureza diferente – fatores críticos de qualidade e não conformidades observadas.

Na secção de controlo, propõe-se que a documentação de alguns mecanismos presentes no mesmo seja feita nos planos de manutenção preventiva e ou/autónoma. Estes planos de manutenção, de forma bastante sucinta, são efetuados pelo operador – manutenção autónoma – ou no caso da manutenção preventiva, pela equipa de manutenção em conjunto com o chefe de linha nos períodos semanais dedicados às intervenções nas linhas.

No caso das linhas de coroas, o estipulado para o plano de manutenção preventiva, é que ocorra 4 vezes por mês. Desta forma num só mês, pode-se garantir a manutenção das 4 linhas de maquinação de coroa em peça branca.

4.5.1. Fatores Críticos Para a Qualidade

No que diz respeito aos parâmetros de maquinação dados como fatores críticos da qualidade, após as ações executadas na fase de melhoria, foi observado e monitorizado o processo e respetivos parâmetros. Para tal, foi construída a Tabela 4.8.

Tabela 4.8. Mecanismos de controlo e monitorização para as ações executadas

Código Improve	OP/ Linha	Fator Crítico De Qualidade	Mecanismos de Controlo		Documentação	
					PMA	PMP
II.1	OP120 Linha A	120CT01	Uso de Gráficos de Controlo	Criar e analisar um histórico de verificação das OP's em questão		X

Método

μ_1 : média de população de Pré-Intervenção
 μ_2 : média de população de Pós-Intervenção
 Diferença: $\mu_1 - \mu_2$

Teste

Hipótese nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Hipótese alternativa $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor-T	GL	Valor-p
9,76	77	0,000

Figura 4.12. Método e Testes de hipóteses para o Fator Crítico 120CT01 (Minitab Statistical Software)

Como resultado, é possível verificar na figura anterior que como o p-valor é inferior ao nível de significância, devemos aceitar a hipótese alternativa, isto é, as médias das amostras nas fases pré e pós intervenção são distintas.

De forma a tornar mais perceptível esta evolução nos dois momentos distintos de análise quantitativa dos dados, apresenta-se o Gráfico 4.15.

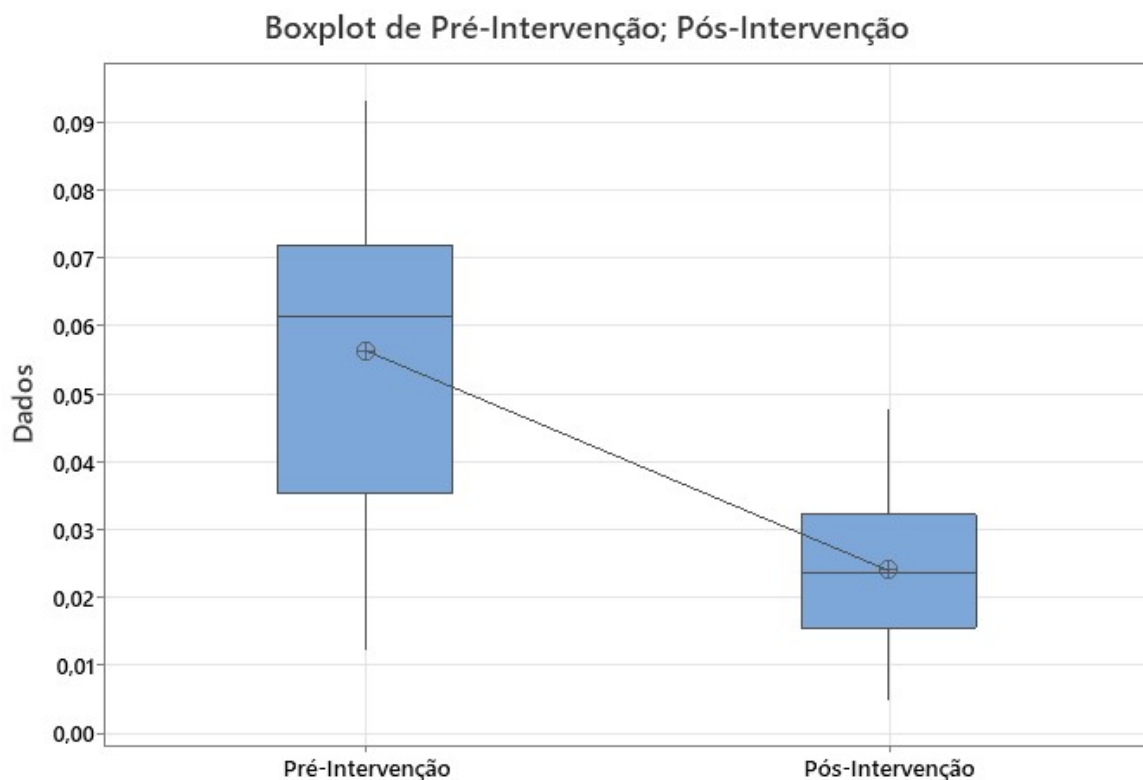


Gráfico 4.15. Boxplot dos valores das medições nas fases pré e pós intervenção

Como é possível comprovar pelo gráfico anterior, a amplitude dos dados foi reduzida e os valores pós intervenção têm uma amplitude menor. Além disto, destaca-se que nos valores medidos após a intervenção na operação 120, o valor mais alto que existe ocorre por volta dos 0,03 microns. Este facto contrasta com os valores pré intervenção que apresentavam valores superiores ao limite superior de controlo– valor de 0,07 microns. No Anexo B – Testes

T para duas amostras e IC encontram-se mais detalhes respetivamente ao teste estatístico desempenhado e referido anteriormente.

4.5.2. Não conformidades Observadas

No que concerne as não conformidades observadas atribuídas às operações de coroa em peça branca, os mecanismos de controlo propostos também se baseiam na inserção de ações de verificação nos planos de manutenção. Estas propostas de controlo seguem expostas na Tabela 4.9.

Tabela 4.9. Mecanismos de controlo e monitorização para as ações executadas

Código Improve	OP/ Linha	Âmbito	Mecanismos de Controlo	Documentação	
				PMA	PMP
I2.1	OP110-140 Linha A	Fontes de Limalha na face das coroas	Verificação periódica das escovas no plano de manutenção		X
I2.2	OP150 Linha A	Presença de limalha na zona de carga	Garantir a funcionalidade das cortinas de separação	X	

Semelhantemente, às medidas de controlo anteriores, estas passam pela verificação periódica das escovas que limpam a limalha à saída da O140 e inserção da medida de substituição das mesmas no plano de manutenção preventiva.

Relativamente à implementação das cortinas nas linhas A, abrangido pela ação I2.2, o mecanismo de controlo proposto será mais flexível dado que apenas é necessário verificar o funcionamento das mesmas. Este mecanismo de controlo seria apropriado a incluir no plano de manutenção autónoma – podendo ser feita pelo operador da linha – devido à menor exigência e tempo despendido.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Dando-se como concluído o ciclo DMAIC e respetiva aplicação das fases integrantes na medida do possível, é importante uma secção que refira a discussão dos resultados. Os resultados a serem discutidos – com um carácter crítico e retrospectivo – serão sobretudo relativos às implementações da fase de melhorias, especialmente, o conjunto I2. Estas medidas associadas às não conformidades foram as que a empresa parceira teve oportunidade de implementar.

No que diz respeito aos resultados da taxa em PPM relativa às caixas diferenciais que apresentam traço de fogo, nada foi possível concluir, uma vez que apenas foram aplicadas 3 ações das 7 delineadas. Além deste número reduzido de ações implementadas, não se denotou grande redução da taxa em PPM quanto às caixas diferenciais com defeito. No caso da presença de limalha, poderá concluir-se que existirão ganhos marginais, no entanto, o cerne das melhorias encontra-se assente nos fatores delineados como críticos para a qualidade.

5.1. Resultados Relativos ao conjunto de Ações I2

O conjunto de ações denominado na fase de melhoria do método DMAIC como I2 incidiu sobretudo quanto à presença de limalha prensada. Tal como é possível consultar na Tabela 4.7, o grande alvo foi a linha de maquinaria A. Já previamente explicado, a presença de limalha pode ser considerada um fator que potencializa o aparecimento do defeito em estudo. Respeitante à presença de limalha prensada, as medidas aplicadas tiveram um impacto bastante positivo como é possível verificar no Gráfico 5.1.

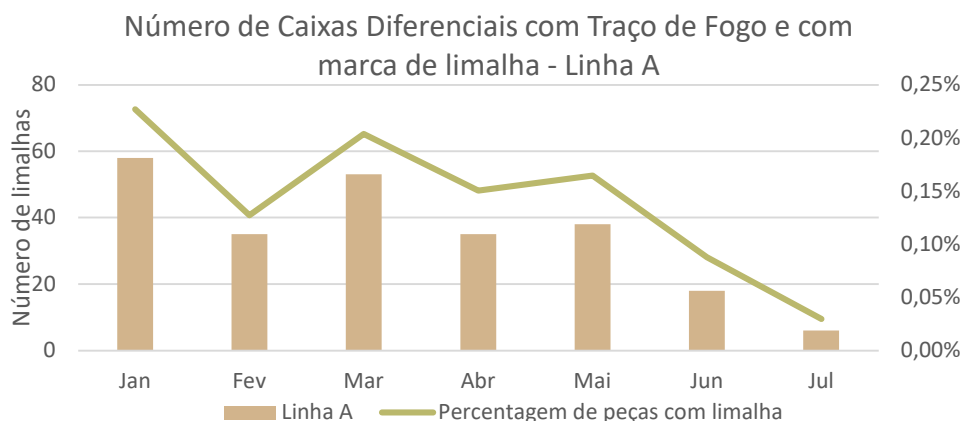


Gráfico 5.1. Evolução da Frequência de limalhas – Linha A

Em relação ao referencial inicial, o primeiro trimestre do ano, pode-se afirmar que existiu uma redução de cerca de 75% quanto às caixas com traço de fogo que possuíam limalha prensada na coroa. Esta redução foi contabilizada tendo em conta os meses de junho e julho no subprocesso de maquinagem da coroa em peça branca. É importante lembrar que esta redução de limalha resultou da implementação das ações I2.1 e I2.2 que foram aplicadas à linha A pertencente ao subprocesso de maquinagem das coroas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusões

A premissa inicial desta dissertação consistiu na redução em PPM da taxa de caixas diferenciais que apresentam traço de fogo. Para atingir o objetivo proposto, foi utilizado o ciclo DMAIC enunciado como objetivo a redução em 40% de caixas que apresentavam o defeito em estudo.

A ferramenta DMAIC foi aplicada numa fase posterior à análise e caracterização do processo produtivo e do defeito de traço de fogo. A importância dos passos que antecederam a aplicação do ciclo DMAIC foi vital, uma vez que se tratava de um processo bastante longo e complexo. Após a fase de medição onde foram recolhidos dados relativos ao percurso das caixas diferenciais com traço de fogo e de pontos específicos do processo, a análise dos mesmos ditou o rumo deste trabalho. Como resultado da fase de análise, o primeiro subprocesso relacionado com a maquinação das coroas em peça branca foi identificado como crítico. De forma mais detalhada, e com recurso ao diagrama de Ishikawa, aprofundaram-se 2 grandes campos pertencentes ao subprocesso já mencionado – a importância das máquinas e respetivos parâmetros de maquinação por um lado, e paralelamente, o método que englobava problemas relacionados com a maquinação incorreta que levava à criação de defeitos que podem influenciar o aparecimento do traço de fogo.

Relativamente ao fator máquina, através da análise dos parâmetros de maquinação do primeiro trimestre e cruzamento com os dias em que existiram picos de traço de fogo, foram determinados os fatores críticos para a qualidade. A determinação dos fatores críticos para a qualidade é bastante importante. Através destes, existiu um ponto de partida para a aplicação das ações na fase de melhoria.

Paralelamente, no que concerne o método, a presença de limalhas e marcas de ferramenta foram identificadas como as não conformidades que poderiam afetar de forma direta o defeito de traço de fogo. Com recurso à ferramenta dos 5 porquês, foram determinadas as causas raiz para os problemas enunciados e associados ao fator método.

Como resultado da fase de análise, foram estipuladas cerca de 7 medidas na fase de melhoria relacionadas com o fator máquina e método – maioritariamente afetadas às

linhas C e A. Quanto às medidas que focavam os parâmetros críticos da qualidade, a intervenção nas operações detentoras dos fatores críticos foi bastante importante, uma vez que deu para estabilizar o fator crítico associado à OP120, como comprovado na fase de controlo.

Por conseguinte, das medidas de melhoria que se preocupavam com a melhoria dos métodos associados ao subprocesso de maquinagem da coroa, apenas a medida I2.1 e I2.2 foram aplicadas. Através da aplicação destas medidas na linha A foi possível dividir a zona de maquinagem e a zona de carga das coroas na OP150, bem como a substituição das escovas de limpeza. Todas as medidas anteriormente referidas foram alvo da fase de controlo e tiveram como proposta final, a inserção das mesmas nos planos de manutenção da organização de forma periódica.

Em conclusão, apenas foram possíveis verificar melhorias quanto às não conformidades associadas com a presença de limalhas nas coroas. Destaca-se uma redução de cerca de 75% em comparação com o primeiro trimestre em estudo. Quanto ao número de traço de fogo expresso em PPM, não foi possível extrair resultados uma vez que apenas foi possível aplicar uma das 3 ações focadas nos fatores críticos para a qualidade.

6.2. Limitações

No que diz respeito às limitações sentidas quanto à elaboração deste trabalho, destaca-se em primeira instância, a complexidade e extensão do processo produtivo a ser estudado. Em conjugação com esta particularidade, o defeito de traço de fogo apenas é possível detetar quase no fim do processo inteiro. Como consequência, existe um elevado conjunto de operações e variáveis complexas a montante, que podem induzir o defeito de traço de fogo na caixa diferencial. Estes dois fatores mencionados anteriormente são parte das principais limitações inerentes ao defeito e processo industrial em estudo.

Paralelamente, uma limitação sentida durante o desenvolvimento do trabalho – em especial na aplicação da fase de melhoria do DMAIC – foi a implementação das ações estipuladas. Apesar de terem sido bem recebidas pelos responsáveis da manufatura, poderia ter existido uma melhor coordenação entre os demais intervenientes para aplicação de mais medidas de melhoria.

6.3. Trabalhos Futuros

Como ponto de término relativo às considerações finais, será pertinente abordar o futuro e iniciativas que tenham como base a redução do número de traços de fogo em PPM. Primeiramente, reitera-se que será crucial a execução das ações ainda em aberto relativo à fase de melhoria do ciclo DMAIC. Como resultado será possível confirmar os fatores críticos para a qualidade através da evolução do processo e do defeito de traço de fogo.

De forma análoga, a medida I2.3 e I2.4, são as próximas medidas a serem recomendadas quanto à execução. A existência de limalha e de marcas de ferramenta como não conformidades são variáveis no sistema que provoca o defeito de traço de fogo. Através da eliminação das causas que provocam estas não conformidades, o traço de fogo enquanto defeito estaria num perímetro de análise ainda mais reduzido – especialmente no que concerne o subprocesso de maquinação da coroa.

Por fim, como medidas que não foram mencionadas em momento algum no desenvolvimento da presente dissertação, destacam-se os seguintes pontos como sugestões de trabalhos futuros:

1. Abordagem ao processo de tratamento térmico e relação com Traço de fogo – análise por cargas e fornos de tratamento;
2. Criação de um critério de aceitação bem definido quanto às dimensões de traço de fogo e integrá-lo no sistema de Inteligência Artificial;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Belu, N., Rizea, A. D., Nițu, E. L., Gavriluță, A. C., & Gavriluță, A. C. (2018). An application of Six Sigma to PPM reduction in the relationship with the external customer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 400(6). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/400/6/062006>
- Britannica, T. E. of E. (1998). *Differential gear* | Britannica. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/differential-gear>
- De Koning, H., & De Mast, J. (2006). A rational reconstruction of Six-Sigma's breakthrough cookbook. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 23(7), 766–787. <https://doi.org/10.1108/02656710610701044>
- Gandhi, S. K., Sachdeva, A., & Gupta, A. (2019). Reduction of rejection of cylinder blocks in a casting unit: A six sigma DMAIC perspective. *Journal of Project Management*, 81–96. <https://doi.org/10.5267/j.jpm.2019.1.002>
- Gijo, E. V., Antony, J., Kumar, M., McAdam, R., & Hernandez, J. (2014). An application of Six Sigma methodology for improving the first pass yield of a grinding process. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 25(1), 125–135. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2011-0109>
- Jou, Y. T., Silitonga, R. M., Lin, M. C., Sukwadi, R., & Rivaldo, J. (2022). Application of Six Sigma Methodology in an Automotive Manufacturing Company: A Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/su142114497>
- Kumar, M., Antony, J., Singh, R. K., Tiwari, M. K., & Perry, D. (2006). Implementing the lean sigma framework in an Indian SME: A case study. *Production Planning and Control*, 17(4), 407–423. <https://doi.org/10.1080/09537280500483350>
- Mittal, A., Gupta, P., Kumar, V., Al Owad, A., Mahalwat, S., & Singh, S. (2023). The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company. *Heliyon*, e14625. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14625>
- Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An overview of six sigma. In *International Statistical Review* (Vol. 76, Issue 3, pp. 329–346). <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x>
- Norzaimi, M., Ani, C., Azid, I. A., & Kamarudin, S. (2016). *Solving Quality Issues in Automotive Component Manufacturing Environment by utilizing Six Sigma DMAIC Approach and Quality tools*.
- Pyzdek, Thomas., & Keller, P. A. (Paul A. (2010). *The Six Sigma handbook : a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels*. McGraw-Hill Companies.
- Reddy, G. P. P., & Reddy, V. V. (2010). Process improvement using Six Sigma-a case study in small scale industry. In *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* (Vol. 6, Issue 2).
- Schroeder, R. G., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. S. (2008). Six Sigma: Definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*, 26(4), 536–554. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.06.007>

- Shankaranarayana, R. (2017). Application of Six Sigma Methodology to Improve Product Quality in Injection Molded Parts at Supplier End in Motorcycle Industry. *SAE Technical Papers*, 2017-September. <https://doi.org/10.4271/2017-01-5011>
- Sharma, P., Malik, S. C., Gupta, A., & Jha, P. C. (2018). A DMAIC Six Sigma approach to quality improvement in the anodising stage of the amplifier production process. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 35(9), 1868–1880. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2017-0155>
- Silva, Q., Lourenço, E., & Martins, C. I. (2020). *Application of DMAIC method in an industrial case study*.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.039>
- Snee, R. D. (2010). Lean Six Sigma – getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), 9–29. <https://doi.org/10.1108/20401461011033130>
- Trimarjoko, A., Purba, H. H., & Nindiani, A. (2020). Consistency of dmaic phases implementation on six sigma method in manufacturing and service industry: A literature review. *Management and Production Engineering Review*, 11(4), 34–45. <https://doi.org/10.24425/mper.2020.136118>
- Yadav, A., & Sukhwani, V. K. (2016). *Quality Improvement by using Six Sigma DMAIC in an Industry*. <http://inpressco.com/category/ijcjet>

ANEXO A – SIPOC SUBPROCESSOS RELATIVOS À CAIXA DIFERENCIAL

Supplier	Input	Process [NºOP/Descrição]		Output	Customer
Tratamento Térmico	Coroa - Peça Negra	OP335	Marcação Datamatrix	Coroa - Peça Negra	Linhas de Soldadura Cx. Diferencial
	Energia	OP340	Torneamento Duro do Diâmetro e Faces	Código Datamatrix	
	Gália TTh				
Fluido de lubrificação	OP350	Atribuição de uma Gália nova à Coroa Maquinada	Gália T.Duro		

Figura A.1. SIPOC do subprocesso de tratamento térmico da coroa

Supplier	Input	Process [NºOP/Descrição]		Output	Customer
Linhas de Maquinação Peça Branca	Coroa - Peça Branca	OP210	Pré-Oxidação	Coroa - Peça Negra	Linhas de Torneamento Duro
		OP220	Carbonitruração Profunda		
	Energia	OP230	Lavagem Após Tratamento		
		OP240	Revenido		
	Fluido de Têmpera	OP250	Granalhagem de Limpeza		
		OP260	Granalhagem pré-contrainte		

Figura A.2. SIPOC do subprocesso de torneamento duro da coroa

Supplier	Input	Process [NºOP/Descrição]		Output	Customer
Linhas de Soldadura Cx. Diferencial	Coroa - Peça Negra	110	Lavagem do diferencial e da coroa	Caixa diferencial Montada	Linha de Pinhões
		120	Decapagem da coroa e diferencial		
	Diferencial	130	Prensagem a frio		
		Energia	150		
	160		Controlo 100% Ultrasons		
	Gália TTh	170	Rodagem Diâmetros e passagem transmimssões		
		180	Lavagem		
	Fluido de lubrificação	200	Quarentena		
		203	Controlo do Traço de Fogo		

Figura A.3. SIPOC do subprocesso de soldadura da coroa e caixa diferencial

ANEXO B – TESTES T PARA DUAS AMOSTRAS E IC

Teste T para Duas Amostras e IC: Pré-Intervenção; Pós-Intervenção

Método

μ_1 : média de população de Pré-Intervenção

μ_2 : média de população de Pós-Intervenção

Diferença: $\mu_1 - \mu_2$

Não assumiu-se igualdade de variâncias para esta análise.

Estatísticas Descritivas

Amostra	N	Média	DesvPad	EP Média
Pré-Intervenção	53	0,0564	0,0215	0,0030
Pós-Intervenção	53	0,0240	0,0110	0,0015

Estimativa da diferença

Diferença	IC de 95% para a Diferença
0,03241	(0,02580; 0,03902)

Teste

Hipótese nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótese alternativa $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor-T	GL	Valor-p
9,76	77	0,000

Figura B.1 - Teste T para duas amostras

ANEXO C – NÃO CONFORMIDADES OBSERVADAS NAS CAIXAS DIFERENCIAIS

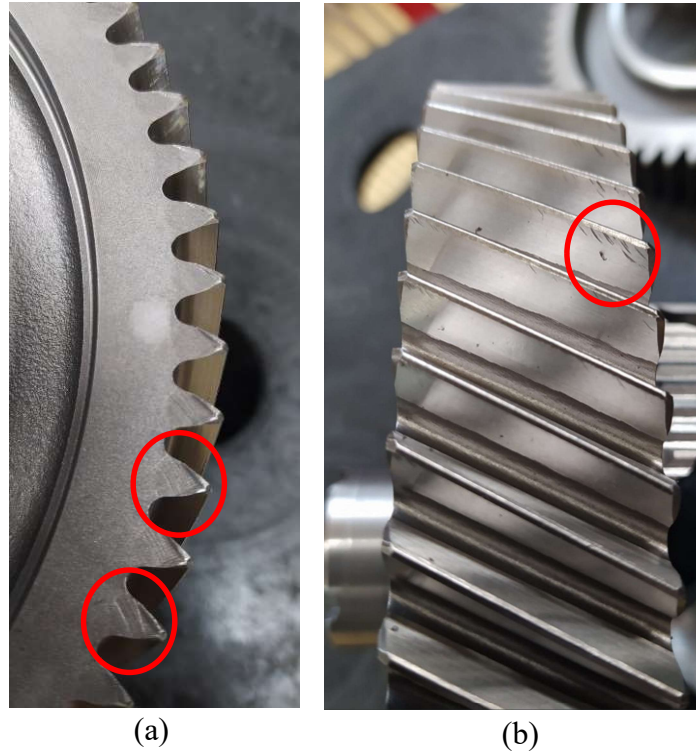
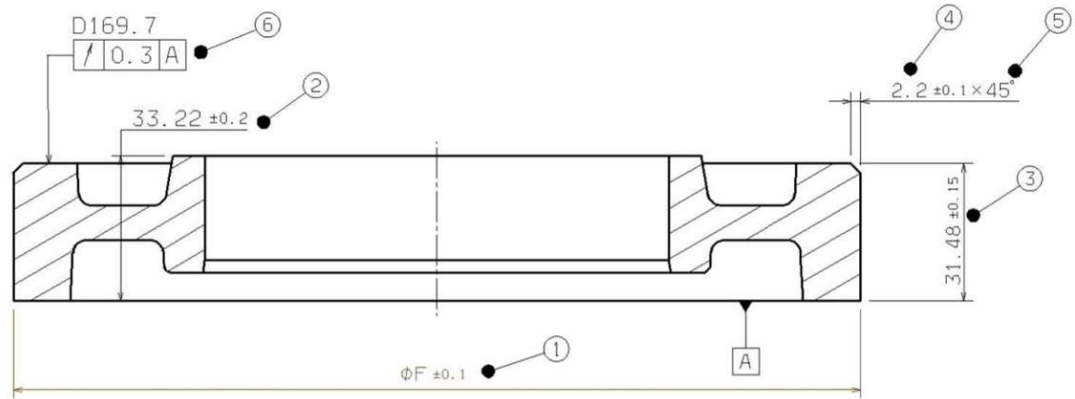


Figura C.1 - (a) Marcas de Chanfrenagem 160MC; (b) Marcas de Shaving 170MS

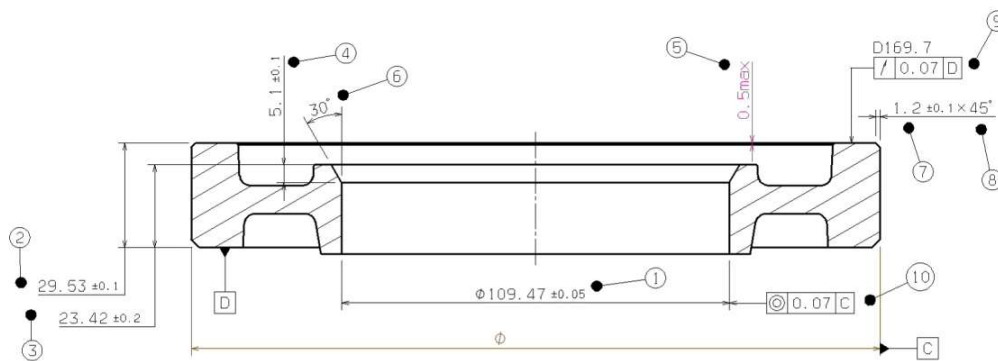
APÊNDICE A - PLANOS DE MAQUINAÇÃO EM PEÇA BRANCA



Nº	PS4N	Seg QDAS	Cota	Freq.	Meio Cont.	Programa
1	110D01	x	CR 14x63 $\emptyset 194.410 \pm 0.1$	1/50	Exameca	FREQU 1/50
	110D02	x	CR 15x58 $\emptyset 189.970 \pm 0.1$	1/50	Exameca	FREQU 1/50
	110D03	x	CR 14x69 $\emptyset 197.290 \pm 0.1$	1/50	Exameca	FREQU 1/50
	110D04	x	CR 14x59 $\emptyset 193.070 \pm 0.1$	1/50	Exameca	FREQU 1/50
2	110C02		33.22 ± 0.2	1/50	Exameca	FREQU 1/50
3	110C01		31.48 ± 0.15	1/50	Exameca	FREQU 1/50
4	110C03		2.20 ± 0.10	1/eq/mud rafale/sem	Lupa / Traç. perf.	--
5	110A01		ANG 45G $\pm 1,0$	1/sem	Traç. perf.	--
6	110BS01	x	BAT 0.3/A	1/50	Exameca	FREQU 1/50

Notas:
 Diâmetros e comprimentos medidos no plano médio
 A cada regulação e/ou mud ferram repetir o controle

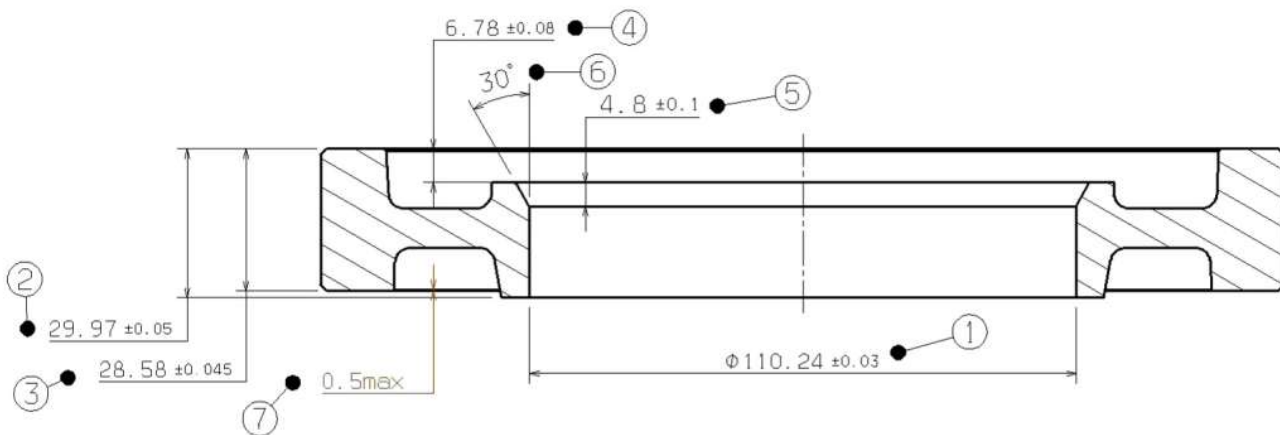
Figura AA.1 - Plano de Maquinação para OP110



Nº	QDAS	Seg QDAS	Cota	Freq.	Meio Cont.	Programa
1	120D01		$\emptyset 109.47 \pm 0.05$	1/50	Exameca	FREQU 1/50
2	120C02	x	29.53 ± 0.10	1/50	Exameca	FREQU 1/50
3	120C01		23.42 ± 0.20	1/50	Exameca	FREQU 1/50
4	120C04		5.1 ± 0.1	1/50	Exameca	FREQU 1/50
5	120C05		Pres. quebra aresta 0.5max	1/50	Visual	--
6	120A02		ANG 30G ± 1	1/50	Exameca	FREQU 1/50
7	120C03		1.2 ± 0.10	1/eq/mud rafale/sem	Lupa / Traç. perf.	--
8	120A01		ANG 45G ± 1	1/sem	Traç. perf.	--
9	120BS01	x	BAT 0.07 r/D	1/2h	Exameca	FREQU 1/2h
10	120CT01	x	CONC 0.07 r/C	1/2h	Exameca	FREQU 1/2h

Notas:
 Diâmetros e comprimentos medidos no plano médio
 A cada regulação e/ou mud ferram repetir o controle

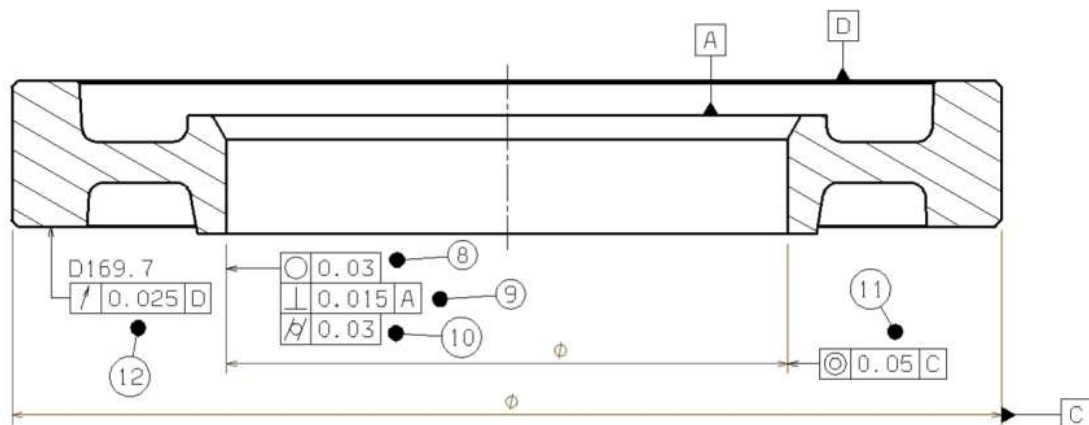
Figura AA.2 - Plano de Maquinação para a OP120



Nº	PS4N	Seg QDAS	Cota	Freq.	Meio Cont.	Programa
1	140D01	x	110.24±0.03	1/50	Exameca	FREQU 1/50
2	140C05	x	29.97±0.05	1/50	Exameca	FREQU 1/50
3	140C01	x	28.58±0.045	1/50	Exameca	FREQU 1/50
4	140C02	x	6.78±0.08	1/50	Exameca	FREQU 1/50
5	140C03		4.80±0.10	1/50	Exameca	FREQU 1/50
6	140A01		ANG 30±1	1/50	Exameca	FREQU 1/50
7	140C04		Pres. quebra aresta 0.5max	1/50	Visual	--

Notas:
 Diâmetros e comprimentos medidos no plano médio
 A cada regulação e/ou mud ferram repetir o controlo

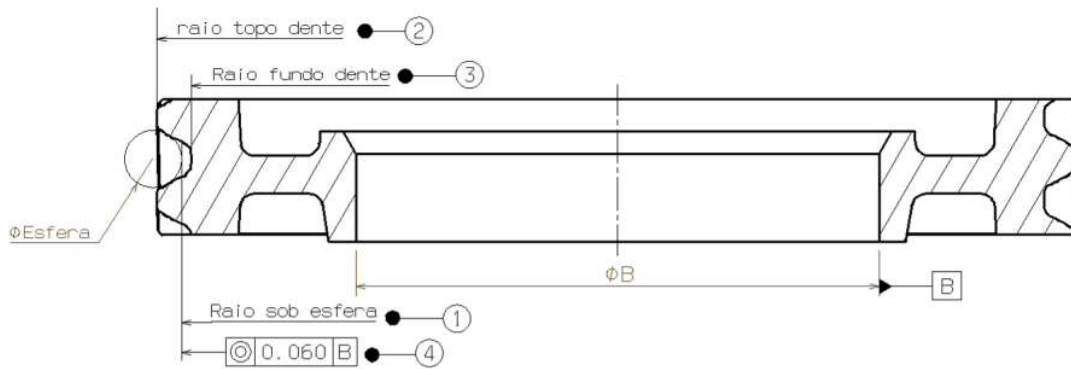
Figura AA.3 - Plano de Maquinação para a OP140 I



Nº	PS4N	Seg QDAS	Cota	Freq.	Meio Cont.	Programa
8	140CR01	x	0.030 max	1/2h	Exameca	FREQU 1/2h
9	140PE01	x	0.015 max	1/2h	Exameca	FREQU 1/2h
10	140CY01	x	0.030 max	1/2h	Exameca	FREQU 1/2h
11	140CT01	x	0.050 max	1/2h	Exameca	FREQU 1/2h
12	140BS01	x	0.025 max	1/2h	Exameca	FREQU 1/2h

Notas:
 Diâmetros e comprimentos medidos no plano médio
 A cada regulação e/ou mud ferram repetir o controlo

Figura AA.4 - Plano de Maquinação para a OP140 II

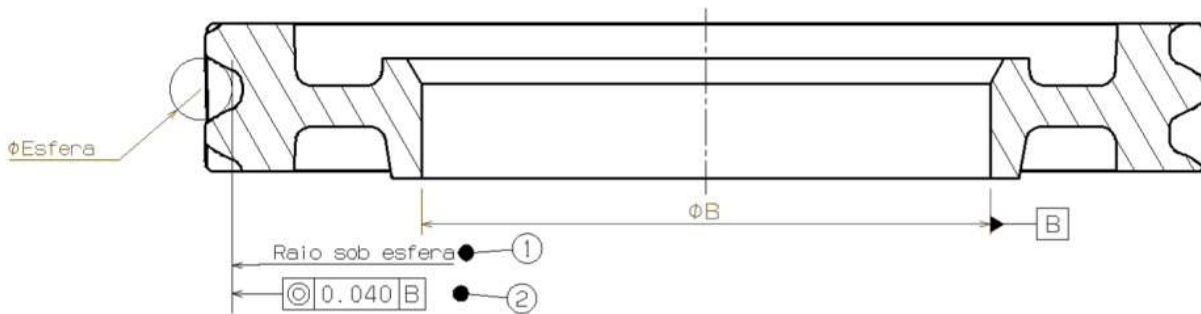


Peça	Estudo dentado	1			2			3			Meio cont	Freq	Programa
		Raio s/esf (± 0.03)	Diam esfera	PS4N/QDAS	Raio topo dente (± 0.07)	PS4N/QDAS	Raio fundo dente (± 0.08)	PS4N/QDAS					
15x58	3708*1	91.350	6	150C01 x	94.860	150C04 x	86.900	150C07 x	Exameca	2/50	FREQU 2/50		
14x63	3757*1*	94.200	6	150C02 x	97.045	150C05 x	89.883	150C08 x	Exameca	2/50	FREQU 2/50		
14x69	3705*1*	94.200	5	150C03 x	98.495	150C06 x	91.460	150C09 x	Exameca	2/50	FREQU 2/50		
14x59	3747*1*	92,860	6	150C10 x	96.387	150C11 x	88.420	150C12 x	Exameca	2/50	FREQ 2/50		

Peça	Cota	PS4N/QDAS	Freq	Meio cont	Programa	
Todas	4 Conc. Dent.	150CT01	x	2/50	Exameca	FREQU 2/50
	HPD	Ver PS4N	-	1/Dia	CMD	--

Notas:
Cotas medidas no plano médio
A cada regulação e/ou mud ferram
repetir o controle

Figura AA.5 - Plano de Maquinação para a OP150



REF	Cota		PS4N / QDAS	Freq	Meio cont	Programa
	1	Raio s/esf (± 0.02)				
15x58	91.275	6	170C01	x	1/50	EXAMECA FREQU 1/50
14x63	94.125	6	170C02	x	1/50	
14x69	94.100	5	170C03	x	1/50	
14x59	92.545	6	170C04	x	1/50	

Peça	Cota	PS4N / QDAS	Freq	Meio cont	Programa
Todas	2 Conc. Dent.	170CT01	x	1/50	FREQU 1/50
	HPD	Ver PS4N	-	2/Equipa	CMD

Notas:
Cotas medidas no plano médio
A cada regulação e/ou mud ferram
repetir o controle

Figura AA.6 - Plano de Maquinação para a OP170