INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

ISEL

Desenvolvimento de um modelo de suporte à melhoria da qualidade. Caso de Estudo.

RUBEN TIAGO MEDEIROS DOS SANTOS
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:
Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Júri:
Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques
Vogais: Doutor Izunildo Fernandes Cabral
Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Maio de 2019

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

ISEL

Desenvolvimento de um modelo de suporte à melhoria da qualidade. Caso de Estudo.

RUBEN TIAGO MEDEIROS DOS SANTOS
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:
Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Júri:
Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques
Vogais: Doutor Izunildo Fernandes Cabral
Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Maio de 2019

Dedicatória

À minha avó Isabel Horta Afonso

Ao meu avô Francisco Paulino Medeiros

Agradecimentos

Dada a elevada importância desta dissertação, tanto a nível pessoal como a profissional, venho aqui expressar os meus sinceros agradecimentos.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram durante este período e que me prestaram o seu apoio que além de permitir a conclusão do mesmo, permitiu-me a realização deste com o melhor aproveitamento possível e cumprindo todos os objetivos definidos.

Desta forma deixo aqui os meus agradecimentos:

- Aos meus pais e ao meu irmão, pela formação que me deram, pelo apoio demonstrado e pelo orgulho nas minhas conquistas, sem os quais, não seria a pessoa que sou hoje.
- À minha namorada que me apoiou e motivou bastante nesta última etapa.
- Ao Doutor António Abreu, pela disponibilidade, profissionalismo, sugestões e orientação na elaboração deste trabalho.
- À empresa, pela oportunidade concedida para a realização deste estudo.
- Ao Diretor da Qualidade da empresa, Engenheiro Pedro Gabriel, por todo o apoio, motivação e disponibilidade que me prestou;
- Ao responsável da área da qualidade das Aeroestruturas, José Calisto, disponibilidade e motivação que me prestou;
- À Ana Luís por todo o apoio, disponibilidade e motivação que me prestou, e por tudo o que me ensinou durante este projeto;
- A todos os elementos do departamento da qualidade produto e fabricação, por todo o apoio, disponibilidade e motivação que me prestaram, nomeadamente, Paulo Gonçalves, Ana Motta, Elsa Caetano, Rita Santos, João Gomes, Ricardo Santos, Luís Baptista, Leonilde Fernandes, João Jesus, João Felizardo, Makiesse Vieira;
- A todos os inspetores do departamento da qualidade produto e fabricação por me terem ajudado, por me terem deixado acompanhá-los durante as inspeções e por terem seguido e utilizado a metodologia dos *Quality Gates* (Portas da Qualidade);
- A todos os operadores, monitores e supervisores da linha de produção por terem colaborado e participado na implementação deste metodologia;

Lista de Siglas

CAMO – *Continuing Airworthiness Management Organisation*

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

DOA – *Design Organisation Approval*

EASA - *European Aviation Safety Agency*

FAA – *Federal Aviation Administration*

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

KPI's – *Key Performance Indicators*

MOA – *Maintenance Organisation Approvals*

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NPR – Número de Prioridade de Risco

PDCA – Ciclo de Gestão: *Plan* → *Do* → *Check* → *Act*

POA – *Production Organisations Approvals*)

PPP – *Phased Project Planning*

QG – *Quality Gate*

SIPOC – ***S****upliers*, ***I****nputs*, ***P****rocess*, ***O****utputs* e ***C****ustomers*

Resumo

Para ser competitivo num cenário global emergente, um produto ou um serviço deve corresponder às expectativas do consumidor em vários aspetos: desempenho, estética, qualidade e custo. Com uma concorrência cada vez mais forte, os fabricantes entenderam que o custo e a qualidade são fatores fundamentais para sobreviverem neste ambiente altamente competitivo.

No presente trabalho apresenta-se um caso de implementação, de forma inovadora, da metodologia da qualidade *Quality Gate*, afim de identificar, controlar e reduzir as não-conformidades detetadas na inspeção final do produto e reclamadas pelo cliente.

De forma aplicar-se este modelo de suporte à melhoria da qualidade, tanto na indústria aeronáutica como em qualquer indústria, quer seja um processo novo ou um processo existente, foi desenvolvido todo o método de implementação da mesma, definido em quatro fases, análise, definição e desenvolvimento, implementação e por fim o seguimento. Através do uso de ferramentas básicas da qualidade adequadas, entre as quais fluxogramas, diagramas de Pareto, Diagrama de *Ishikawa*, Folhas de Verificação, determinaram-se quais os defeitos mais frequentes na linha produtiva, as respetivas causas que dão origem ao modo de falha e foram ainda desenvolvidas *check-lists* (neste caso, chamados livros de inspeção).

Os resultados do caso de estudo evidenciam que o *Quality Gate* é uma ferramenta de simples implementação e promissora que atinge os objetivos definidos.

Devido a sua simplicidade de gestão, esta metodologia pode ser considerada um método apropriado para controlar processos ou projetos e pode ser amplamente aplicado em diferentes setores de indústrias.

Palavras chave: Qualidade, *Quality Gate,* Ferramentas da Qualidade, Aeronáutica, Melhoria Contínua

Abstract

To be competitive in an emerging global scenario, a product or service must meet consumer expectations in a number of respects: performance, esthetics, quality, and cost. With increasing competition, manufacturers have realized that cost and quality are key factors in surviving in this highly competitive environment.

This paper presents a case of innovative implementation of the Quality Gate quality methodology in order to identify, control and reduce the non-conformities detected in the final inspection of the product and claimed by the customer.

In order to apply this model of support to quality improvement, both in the aeronautical industry as in any industry, whether a new process or an existing process, the entire implementation method was developed, defined in four phases, analysis, definition and development, implementation and finally follow-up.

Through the use of appropriate basic quality tools, including flowcharts, Pareto diagrams, Ishikawa diagrams, Check Sheets, the most frequent defects in the production line, the causes that gave rise to failure mode and checklists (in this case, called inspection books) were also developed.

The results of the case study show that Quality Gate is a simple and promising implementation tool that achieves the defined objectives.

Due to its simplicity of management, this methodology can be considered an appropriate method to control processes or projects and can be widely applied in different industries sectors.

Keywords: *Quality, Quality Gate, Quality Tools, Aeronautics, Continuous Improvement*

Índice

Índice de Figuras xi

Índice de Tabelas xii

Índice de Gráficos xiii

1. Introdução 1

1.1. Enquadramento 1

1.2. Objetivos 2

1.3. Metodologia da Investigação 2

1.4. Organização da dissertação 3

2. Revisão Literatura 5

2.1. O que é a qualidade e a sua evolução 5

2.2. Importância da Qualidade 7

2.3. Processos 7

2.3.1. Conceito de processo 7

2.3.2. Estrutura de processos 8

2.3.3. Melhoria Contínua de Processos 9

2.3.3.1. Ciclo PDCA 10

2.3.3.2. DMAIC 12

2.3.3.3. PDCA *vs* DMAIC 14

2.3.4. Qualidade no processo 15

2.4. Ferramentas da Qualidade 16

2.4.1. SIPOC 18

2.4.2. Brainstorming 19

2.4.3. Fluxograma 21

2.4.4. Folhas de Verificação 23

2.4.5. Diagrama Ishikawa 26

2.4.6. Diagrama de Pareto 29

2.4.7. Diagrama de Dispersão 31

2.4.8. Histograma 34

2.4.9. Cartas de Controlo 38

2.4.10. 5W2H 43
2.4.11. FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) 45
2.4.12. Quality Gates 52
3. Metodologia de Implementação dos Quality Gates 57
3.1. Primeira Fase: Análise 58
3.1.1. Como implementar os Quality Gates num novo processo? 58
3.1.2. Como implementar os Quality Gates num processo já existente? 59
3.2. Segunda Fase: Definição e Desenvolvimento 59
3.3. Terceira Fase: Implementação 60
3.4. Quarta Fase: Seguimento 62
4. Aplicação dos Quality Gates na Indústria Aeronáutica (Caso de Estudo) 63
4.1. Qualidade na Indústria Aeronáutica 63
4.2. Caracterização da Empresa 64
4.3. Quality Gates na Linha Produtiva 64
4.3.1. Mapeamento do Processo Produtivo 65
4.3.2. Análise dos Dados da Inspeção Final dos Elementos 67
4.3.3. Definição e Desenvolvimento dos Quality Gates 75
4.3.4. Implementação e Seguimento na Linha Produtiva 79
5. Conclusões 99
Referências 101

Índice de Figuras

Figura 1 - Os "três P's" dos negócios 8
Figura 2 - Cadeia de processos de Clientes e Fornecedores 9
Figura 3 - Ciclo PDCA 11
Figura 4 - Ciclo DMAIC 12
Figura 5 - Exemplo do modelo ETVX 16
Figura 6 - Simplificar e estandardizar a recolha manual dos dados 25
Figura 7 - Diagrama de Ishikawa 28
Figura 8 - Exemplo de um diagrama de pareto 31
Figura 9 - Exemplo de uma correlação positiva 32
Figura 10 - Exemplo de uma correlação negativa 33
Figura 11 - Exemplo de uma correlação nula 33
Figura 12 - Exemplo de uma correlação fraca 33
Figura 13 - Exemplo de uma correlação forte 33
Figura 14 -Exemplo de uma correlação perfeita 34
Figura 15 - Exemplo de Histograma 35
Figura 16 - Exemplo de histograma simétrica 36
Figura 17 - Exemplo de distribuição assimétrica positiva 37
Figura 18 - Exemplo de distribuição assimétrica negativa 37
Figura 19 - Exemplo de histograma com dois picos 37
Figura 20 -Exemplo de histograma platô 38
Figura 21 - Exemplo Carta de Controlo 39
Figura 22 – Regras para deteção de um processo fora de controlo estatístico 41
Figura 23 - Stage-gate de segunda geração, segundo Robert Cooper 52
Figura 24 - Exemplo de um processo com Quality Gates entre as várias etapas 55
Figura 25 - Fluxograma da Metodologia Quality Gate 61
Figura 26 - Exemplo da reatividade de um processo com QG entre várias etapas 62
Figura 27 - Cascata simplificada do produto 65
Figura 28 - Fluxo de montagem da linha produtiva do Elemento Final 66
Figura 29 - Fluxo de montagem da linha do Elemento Final com Quality Gates 77
Figura 30 - Layout ilustrativo do Quadro de Animação do Quality Gate 79

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Eras da Qualidade 6
Tabela 2 – SIPOC 18
Tabela 3 - Símbolos do Fluxograma, designação e respetivo significado 22
Tabela 4 – Dados para o gráfico de pareto 30
Tabela 5 - Cartas de Controlo de Shewhart 42
Tabela 6 - Exemplo de um formato 5W2H 45
Tabela 7 - Classificação da falha de acordo com a Severidade (S) 49
Tabela 8 - Classificação da falha de acordo com a Ocorrência (O) 50
Tabela 9 - Classificação da falha de acordo com a Deteção (D) 50
Tabela 10 - Índice do Número de Prioridade de Risco (NPR) 51
Tabela 11 - Dados dos Defeitos por Tipologia 71

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Total de Defeitos por Elemento 67
Gráfico 2 - Total de Defeitos da Inspeção Final por Elemento Final 68
Gráfico 3 - Total de Defeitos de Reclamações de Cliente por Elemento 68
Gráfico 4 - Total de Defeitos por Conjunto/Subconjunto 69
Gráfico 5 - Total de Defeitos por Elemento (sem os conjuntos 7, 8 e 9..... 70
Gráfico 6 – Total de Defeitos por Tipologia das Não-Conformidades..... 71
Gráfico 7 - Total de Defeitos por Tipologia - Elemento 2..... 72
Gráfico 8 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 1 73
Gráfico 9 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 3 73
Gráfico 10 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 4 74
Gráfico 11 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 6 74
Gráfico 12 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 2 75
Gráfico 13 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 5 75
Gráfico 14 - Total de Defeitos por Elemento após quality gates 81
Gráfico 15 - Total de Defeitos da Inspeção Final por Elemento Final após quality gates 82
Gráfico 16 - Total de Defeitos da Inspeção Final por Elemento Final após quality gates 82
Gráfico 17 - Total de Defeitos de Reclamações de Cliente por Elemento Final após QG 83
Gráfico 18 - Total de Defeitos por Conjunto/Subconjunto após quality gates 84
Gráfico 19 - Total de Defeitos por Tipologia das Não-Conformidades após QG..... 84
Gráfico 20 - Total de Defeitos por Tipologia - Elemento 2 após quality gate 85
Gráfico 21 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 1 após quality gate 86
Gráfico 22 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 3 após quality gate 86
Gráfico 23 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 6 após quality gate 87
Gráfico 24 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 2 após quality gate 87
Gráfico 25 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 4 após quality gate 88
Gráfico 26 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 5 após quality gate 88
Gráfico 27 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final..... 89
Gráfico 28 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final 89
Gráfico 29 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final..... 90
Gráfico 30 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final 90
Gráfico 31 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final..... 91
Gráfico 32 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final 91
Gráfico 33 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final..... 92

Gráfico 34 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final 92
Gráfico 35 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final..... 93
Gráfico 36 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final 93
Gráfico 37 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final..... 94
Gráfico 38 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final 94
Gráfico 39 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final..... 95
Gráfico 40 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final 95
Gráfico 41 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final..... 96
Gráfico 42 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final 96
Gráfico 43 - Defeitos de pintura do QG vs Defeitos de pintura da Inspeção Final 97
Gráfico 44 - Defeitos de pintura do QG vs Defeitos de pintura da Inspeção Final 97

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Na maioria das indústrias, a qualidade nunca teve uma importância tão grande como agora. Na nossa vivência diária, e sobretudo nas últimas décadas, o termo "Qualidade" é cada vez mais frequente no nosso vocabulário. Menciona-se muito a qualidade de um produto ou de um serviço, qualidade de ensino, qualidade de vida. Com o aparecimento em todos os domínios de produtos cada vez com melhor qualidade e com as novas tecnologias a capacitaram os clientes a procurar e comparar uma infinidade de produtos de todo o mundo, as pessoas adquiriram uma nova cultura e tornaram-se mais exigentes e sensíveis a pormenores anteriormente descurados [1].

Desta forma, o aumento gradual da competitividade nos diferentes mercados, fruto da globalização e dos rápidos avanços tecnológicos, assim como, um grau de exigência cada vez maior por parte dos clientes, tem conduzido várias indústrias a aumentar a preocupação com a qualidade dos seus produtos. Face a uma maior oferta de produtos e/ou serviços do mesmo tipo, torna-se fundamental que os processos produtivos operem com valores de variabilidade mínimos, quer seja para melhorar a qualidade do produto, quer seja para eliminar eventuais desperdícios [2].

Segundo Joseph M. Juran, os três pontos fundamentais da gestão da qualidade são: o planeamento da qualidade, a melhoria de qualidade e o controlo da qualidade. A partir de Juran, a qualidade passa a ser definida como o "desempenho do produto que resulta em satisfação do cliente", ou seja, a qualidade deixa de ser algo apenas estatístico (ausência de deficiências) e passa a englobar a satisfação do cliente e o esforço para se evitar a "não satisfação" ocasionada por produtos defeituosos ou que ficam aquém da expectativa do cliente [3].

Em relação à qualidade do produto, o processo de fabricação torna-se o alvo de mudanças e controlo que passam a ser cada vez mais direcionados aos postos de trabalho, à execução das atividades e até mesmo ao colaborador que executa uma determinada tarefa. Estes tipos de controlo têm vindo a colocar de parte o controlo final do produto, ou a inspeção final do produto acabado, para focar nas operações que geram defeitos no produto durante o processo.

Assim a implementação de um novo processo de controlo de qualidade, nomeadamente *Quality Gates*, ao longo do processo produtivo é necessária, tendo como prioridade antecipação da deteção das não-conformidades, a redução nos tempos de retrabalho e nos custos do produto final.

De forma aplicar-se o mesmo, tanto na indústria aeronáutica como em qualquer indústria, quer seja um processo novo ou um processo existente, foi desenvolvido todo o método de implementação da mesma, definido em quatro fases, análise, definição e desenvolvimento, implementação e por fim o seguimento, através do uso de ferramentas básicas da qualidade adequadas.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo desenvolver um modelo de suporte à melhoria da qualidade, nomeadamente, o desenvolvimento e implementação de *Quality Gates* numa linha de produção do sector aeronáutico. Nos *Quality Gates*, deverão ser utilizadas ferramentas de qualidade no auxílio da análise e tomada de decisão obtendo uma melhoria de qualidade no processo de fabrico e do produto. Desta forma, é preciso conhecer quais as ferramentas de qualidade e metodologias que estão disponíveis atualmente e compreendê-las com detalhe suficiente para saber qual a melhor a ser aplicada em cada situação e como aplicá-la.

É neste contexto e por exercer funções na área de qualidade numa empresa aeronáutica, que me proponho a desenvolver um modelo que ajude a melhorar as inspeções, o processo, a qualidade do produto e consequentemente aumentar a satisfação do cliente, reduzindo a quantidade elevada de não-conformidades detetadas na etapa final do processo e do produto por parte do cliente, onde se tem se vindo a sentir cada vez mais o aumento dos mesmos nesta empresa.

1.3. Metodologia da Investigação

A metodologia adotada para o desenvolvimento desta dissertação fundamenta-se nos seguintes tipos de pesquisa:

- Teórica: Orientada no sentido de adquirir mais conhecimento sobre a qualidade, a sua evolução, a importância, as suas ferramentas e metodologias, a forma como elas se aplicam;
- Investigação-Ação: metodologia que tem o duplo objetivo de ação e investigação, no sentido de obter resultados em ambas as vertentes:
    - Ação – para obter mudança numa comunidade ou organização ou programa;
    - Investigação – no sentido de aumentar a compreensão por parte do investigador, do cliente e da comunidade;

Os métodos de pesquisa qualitativa e, particularmente, a Investigação-Ação, atraíram nos últimos anos a atenção e conquistaram a aceitação da comunidade científica. O termo "pesquisa-ação" foi criado por Kurt Lewin em 1946 em seu trabalho intitulado "*Action research and minority problems*".

De uma forma simplificada a Investigação-Ação pode ser descrita como uma família de metodologias de investigação que incluem ação (ou mudança) e investigação (ou compreensão) ao mesmo tempo, utilizando um processo cíclico ou em espiral, que alterna entre ação e reflexão crítica. Nos seguintes ciclos, são aperfeiçoados, de modo contínuo, os métodos, os dados e a interpretação face a experiência obtida no ciclo anterior [4].

Neste sentido foi necessário estabelecer um protocolo de parceria com uma empresa de forma a desenvolver-se o caso de estudo. Na mesma, os colaboradores da organização cooperaram durante todas as fases do projeto, ou seja, desde a recolha, análise, implementação até à obtenção dos resultados.

Para o desenvolvimento da metodologia dos *Quality Gates* foi criada uma equipa multidisciplinar constituída por cinco elementos, que com base na pesquisa científica realizada sobre o tema, no tipo de organização, experiência, conhecimento e tipo de produto onde iria ser implementado, formularam os seguintes passos:

- Seleção do Tema;
- Cooperação com a empresa;
- Revisão Bibliográfica e Desenvolvimento do estudo;
- Elaboração da Metodologia *Quality Gate;*
- Aplicação e Análise da Metodologia;
- Conclusões e Recomendações.

Após a sua conceção, procedeu-se então à sua aplicação na empresa e consequente análise dos resultados.

1.4. Organização da dissertação

Ao nível de organização a presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos

O primeiro capítulo, “Introdução”, compreende o enquadramento do estudo, no qual se procura apresentar o estudo e o trabalho realizado, os objetivos traçados, a motivação para o desenvolver, a metodologia utilizada e a estrutura geral da dissertação.

No segundo capítulo, “Revisão Literatura - Qualidade”, expõem-se os conceitos teóricos associados à qualidade, a definição e a sua evolução, definição de processos, estrutura dos processos, a qualidade num processo e na indústria aeronáutica. É apresentado as principais ferramentas da qualidade e

metodologias. A cada ferramenta é explicado para que serve, quando se aplica, como entendê-la e como utilizá-la seguindo as várias etapas.

No terceiro capítulo, "Metodologia de Implementação dos *Quality Gates*" apresenta-se a metodologia dos *Quality Gates*. No que consiste esta metodologia, como se deve proceder para a sua implementação e que ferramentas de qualidade podem ser utilizadas em cada gate.

No quarto capítulo, "Aplicação dos *Quality Gates* na Indústria Aeronáutica (Caso de Estudo)", descreve a empresa onde decorreu o estudo, a implementação da metodologia na linha de produção e os resultados obtidos.

No Capítulo 5, "Conclusões", sintetizam-se as principais conclusões da dissertação e apresentam-se ainda as principais recomendações para trabalhos futuros, que engloba os pontos fortes e fracos do método e avalia a sua exequibilidade.

2. Revisão Literatura

2.1. O que é a qualidade e a sua evolução

Segundo Pinto, o conceito de qualidade não é muito fácil de definir, pois o seu valor é conhecido por todos, mas definido de forma diferenciada por diferentes grupos da sociedade, ou seja, a perceção de cada individuo é diferente em relação aos mesmos produtos ou serviços, em função das suas necessidades, experiências e expetativas [5].

Joseph Moses Juran, indicou que dos muitos significados da palavra "qualidade", dois são de importância crítica para a gestão da qualidade [3].

O primeiro ponto está relacionado com as características/requisitos do produto que atendem às necessidades do cliente. Uma maior qualidade permite às empresas aumentar a satisfação do cliente, tornando os produtos competitivos no mercado, estes são vendidos com uma maior facilidade e procura, traduzindo-se num cliente satisfeito com o produto que recebe aumentando a receita da empresa. No entanto, fornecer mais e melhores recursos de qualidade geralmente requer um investimento e envolve aumentos nos custos. Maior qualidade nesse sentido geralmente "custa mais".

O segundo ponto está relacionado com o facto de não existir deficiências – livre de erros (zero erros), que exigem retrabalho ou que resultam em falhas de campo, insatisfação do cliente, reclamações de cliente, entre outros. Assim, uma maior qualidade permite que as empresas reduzam as taxas de erro, os retrabalhos (desperdícios), as falhas de campo, a insatisfação do cliente, as inspeções, desta forma encurta-se o tempo para colocar novos produtos no mercado e aumentando os rendimentos, a capacidade e melhorando o desempenho de entrega. Neste sentido, o significado da qualidade é orientado para os custos, e a qualidade mais alta geralmente custa menos.

De forma a se produzir produtos ou serviços com qualidade, é necessário que as organizações deem a formação adequada, motivem e compensem adequadamente os colaboradores, dirijam criteriosamente as expectativas e perceções dos clientes, deve ser apenas prometido ao cliente o que se têm a certeza do que se consegue cumprir, e definam indicadores que lhes permitam gerir (e manter) o nível de qualidade do produto/serviço prestado.

A Qualidade deixou apenas de ser um conceito e tornou-se a base e os pilares para que qualquer empresa possa ser competitiva no mercado cada vez mais exigente. É importante conhecer a evolução no processo da qualidade, de forma a entender e ter uma visão do que poderá vir a seguir. Segundo

David Garvin, a evolução da qualidade foi, ao longo do tempo, regular e composta por quatro estágios definidos como "Eras da Qualidade", de onde cada uma das mesmas complementa o estágio da anterior provocando mudanças práticas nas prioridades e responsabilidades de uma organização. Estas são classificadas e definidas conforme a Tabela 1 [6]:

Tabela 1 - Eras da Qualidade [6]

Características Básicas	**1ª Era: Inspeção**	**2ª Era: Controlo Estatístico da Qualidade**	**3ª Era: Garantia da Qualidade**	**4ª Era: Gestão Estratégica da Qualidade**
Principal Interesse	Verificação	Controlo	Coordenação	Impacto Estratégico
Foco Principal	Conformidade do produto	Conformidade com menos inspeção	Impedir falhas de qualidade	Necessidades do mercado e do cliente
Métodos	Instrumentos de medição	Ferramentas de estatística	Programas e sistemas	Planeamento Estratégico
Papel da Qualidade	Inspeção, classificação, contagem e avaliação	Solução de problemas e aplicação de métodos estatísticos	Planeamento, medição da qualidade e projeto de programas	Estabelecimento de objetivos, formação, consultoria e desenvolvimento
Responsabilidade	Departamento de Inspeção	Departamento de produção e engenharia	Todos os departamentos e ao nível da direção	Todos na empresa com a direção fortemente participativa
Orientação	Inspecionar a qualidade	Controlar a qualidade	Construir a qualidade	Gerir a qualidade

Considerando desta forma a evolução da qualidade e a constante modificação na abordagem da mesma, nota-se que o foco principal deixa de ser apenas a conformidade do produto ou serviço com as especificações técnicas e evolui para as necessidades do cliente e para o que o mesmo espera receber. É percetível, que para atingir um grau de excelência é necessário seguir a qualidade de forma sistemática, é necessário um planeamento, gestão, definir objetivos e não tratar a mesma de uma forma pontual ou apenas com controlos estatísticos como era feito na primeira e segunda era, respetivamente.

2.2. Importância da Qualidade

A satisfação dos clientes, a melhoria contínua dos processos de produção e dos produtos e, inevitavelmente, a obtenção dos melhores resultados, são apenas alguns dos desafios que as empresas de hoje têm de encarar. Através da globalização e do avanço tecnológico, os clientes são cada vez mais informados e esclarecidos sendo, por consequência, mais exigentes. No entanto, em tempos de crise é fundamental que as organizações sejam eficientes, reduzindo os seus custos, e fidelizem os seus clientes, aumentando a sua satisfação, de forma a conseguirem, pelo menos, conservar os resultados financeiros a curto e médio prazo. Algumas organizações divergem, essencialmente em implementar melhorias técnicas e tecnológicas, sem questionar a necessidade das mesmas, e muito menos a sua oportunidade, sendo os benefícios assim conseguidos da mesma ordem de grandeza dos custos da não qualidade [5].

Resumidamente, segundo Abel Pinto, a qualidade sustentável dos produtos e serviços produzidos pela organização assegura a satisfação dos clientes, e como consequência, a sua fidelização, bem como o fruto da gestão de processos, a diminuição dos desperdicios e gastos supéfluos e a consequente diminuição dos custos [5].

Assim sendo, a satisfação dos clientes é o fator principal e fundamental, porque um cliente que não esteja satisfeito transmite essa impressão negativa a um elevado número de pessoas, ao invés de um cliente satisfeito que irá passar e demonstrar o produto ou serviço que adquiriu a outras pessoas.

2.3. Processos

Dentro da área de melhoria da qualidade, os processos são um conceito fundamental, pois todas as melhorias podem ser feitas através de uma melhor compreensão dos processos envolvidos.

2.3.1. Conceito de processo

De acordo com Pinto, um processo pode ser definido, genericamente, como “um conjunto de atividades relacionadas entre si e que utilizam recursos para transformar entradas no processo (*inputs*) em saídas (*outputs)*, acrescentando valor durante esta transformação”. Desta forma, e no contexto de qualidade, a atividade é entendida como um conjunto de tarefas interligadas, onde a tarefa é uma ação básica executada por uma pessoa ou máquina, ou por ambas. Existindo um bom desempenho dos processos a obtenção de resultados que aportem valor para a organização, para os seus clientes e para as restantes partes interessadas irá ser positivo e irão acrescentar valor [5].

Para David Starker, os processos são um dos "três P's" da qualidade nos negócios, Pessoas, Produtos e Processos, onde os processos representam como é feito e os produtos como são feitos. Desta forma, as pessoas usam os processos para produzir produtos. Uma forma de contrastar a qualidade no produto e atividades do processo, é ver a produção de produtos de qualidade como "*fazer a coisa certa*" e os processos de qualidade é sobre como "*fazer da forma certa/correta*" como mostrado no diagrama abaixo, Figura 1.

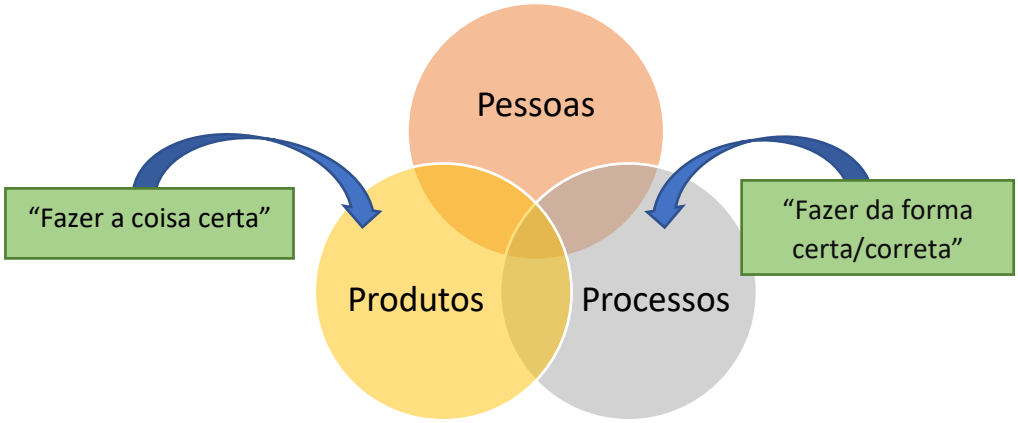

Figura 1 - Os "três P's" dos negócios [7]

Joseph Juran define um processo como sendo uma série sistemática de ações direcionadas para o alcançar um objetivo.

2.3.2. Estrutura de processos

Para melhorar processos é necessário entender a estrutura dos mesmos, tanto a nível interno de uma organização como as interações com outros processos exteriores à mesma.

Dentro de um processo existem várias ações, esta série de ações podem ser divididas em dois tipos:

1. Uma simples ação, onde algo é feito e a subsequente ação é sempre a mesma;
2. Uma decisão, onde nada é feito além de decidir qual deve ser a ação subsequente;

O que torna um processo sistemático, é as ações não serem executadas aleatoriamente, mas sim numa sequência predefinida. A ferramenta mais comum para mostrar esta sequência, e que é abordada nesta dissertação, é um fluxograma pois utiliza diferentes símbolos para distinguir os diferentes tipos de ação.

Ao nível dos fornecedores e clientes, as entradas de um processo (*inputs*) são as saídas de um processo anterior (*outputs*) ou de um fornecedor. As saídas de um processo formam as entradas para um processo posterior do cliente. Os processos ligam-se assim para formar cadeias de processos de fornecedores, como exemplificado na Figura 2 abaixo [7]:

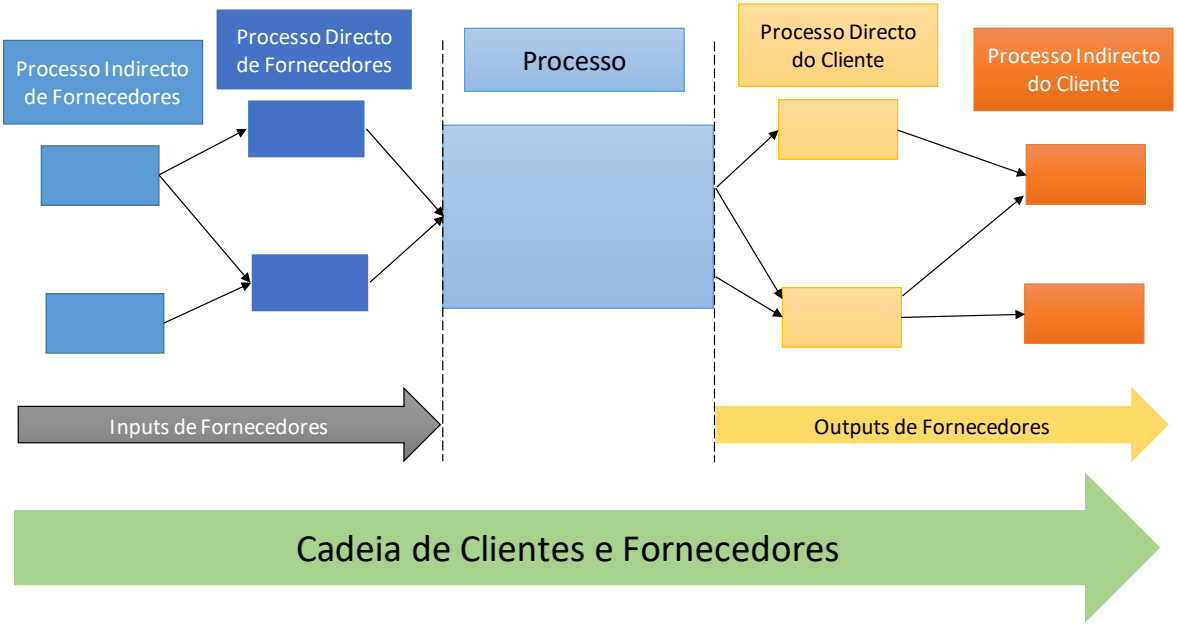

Figura 2 - Cadeia de processos de Clientes e Fornecedores [7]

Na prática, pode haver muitos clientes de um processo, produzir uma saída (*output*) defeituosa pode causar não só problemas para o processo seguinte, mas também para os outros clientes, indiretos mais abaixo na cadeia.

2.3.3. Melhoria Contínua de Processos

A melhoria contínua é um fator-chave para reduzir o custo da qualidade e um principal fator para a melhoria da qualidade é uma ação corretiva. A melhoria da qualidade é alcançada melhorando continuamente o processo de produção e negócios de uma organização [8].

As organizações passam por alterações significativas devido à pressão dos mercados e da sociedade em geral. Assim, a melhoria de processos terá de ser uma preocupação constante para reduzir custos e assegurar a adaptação e melhoria contínua da organização. Todos os processos, um a um, devem ser submetidos, periodicamente, a uma análise estruturada e sistemática, tendo em conta a estratégia da empresa e/ou organização, a estrutura organizacional, eventuais mudanças legais, normativas e as

pessoas, assim como os recursos tecnológicos e a informação disponíveis e os processos relacionados [5].

A melhoria pode ser elucidada como a análise para determinar pontos de ineficiência e necessidade de melhorar as organizações. Além de detetar os mesmos, as ferramentas irão indicar também as causas dos problemas, bem como indicar o meio para corrigi-los. Esta melhoria e analise pode ser otimizada: [8]

- Visualizando todo o trabalho como processo, seja associado a produção ou processo;
- Tornar todos os processos eficazes, eficientes e adaptáveis;
- Antecipar a mudança na necessidade do cliente;
- Controlar o desempenho do processo usando métricas como taxa de rejeição e tempos de ciclo e ferramentas de monitorização;
- Eliminar desperdícios e retrabalho onde quer que ocorra;
- Investigar atividades que não agreguem valor ao produto ou serviço, com o objetivo de eliminar essas atividades;
- Eliminar não-conformidades em todas as fases do trabalho de todos, mesmo que o incremento de melhoria seja pequeno;
- Uso de *benchmarking* para melhorar a vantagem competitiva;
- Inovar para alcançar avanços;
- Ganhos de detenção para que não haja regressão;
- Incorporar a lição aprendida em atividades futuras.

2.3.3.1. Ciclo PDCA

O ciclo PDCA (do inglês *Plan, Do, Check and Act*) pode ser aplicado aos processos como um todo. Este ciclo é também conhecido como ciclo de Deming ou ciclo de Shewhart, é uma metodologia de que foi desenvolvida em 1930 por Walter Shewhart, quando não havia mais produtos exclusivos e uma gestão de qualidade mais focada na competitividade do mercado global. No entanto, William Edward Deming foi quem, a partir de 1950, desenvolveu e vulgarizou este método, que hoje é um dos mais conhecidos e aplicados em todo o mundo. O objetivo principal é tornar os processos da gestão de uma empresa mais ágeis, claros e objetivos [9].

Este ciclo é composto por quatro etapas: Planear (*Plan*), Executar (*Do*), Verificar (*Check*) e Agir (*Act*).

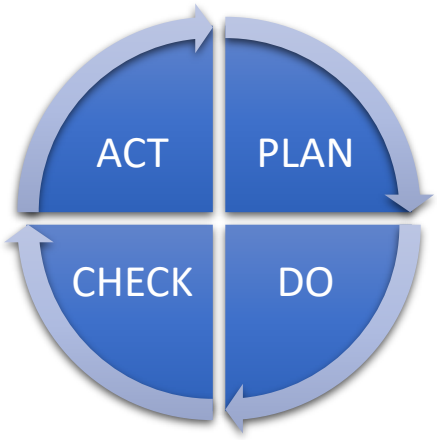

Figura 3 - Ciclo PDCA [Autor]

A primeira etapa deste ciclo é, Planear (***P**lan*). Nesta etapa, e sendo a primeira, é necessário iniciar-se a mesma por identificar o problema, definir os objetivos que se querem alcançar, avaliar os riscos e as oportunidades determinadas pelo contexto, definir os métodos e os meios para alcançar os objetivos propostos e por fim criar um plano de ações.

A segunda etapa é, Executar (***D**o*). Momento é que são executadas e implementadas as tarefas rigorosamente como foram planeadas na primeira etapa, são recolhidos os dados que serão utilizados na próxima etapa de verificação do processo, são formados os colaboradores para que possam cumprir as responsabilidades que lhes foram atribuídas e as chefias devem liderar pelo exemplo;

A terceira etapa é, Verificar (***C**heck*). Após a implementação, os colaboradores verificam se as tarefas, executadas estão conforme o planeado, ou seja, se cada objetivo foi alcançado, cumprindo o método definido e identificam os desvios (e respetivas causas) nos objetivos ou nos métodos;

A quarta etapa é, Agir (***A**ct*). De acordo com o resultado obtido na etapa anterior, caso sejam identificados desvios, é necessário definir, planear e implementar soluções que eliminem as suas causas, ou no caso em que não sejam identificados desvios, deve-se realizar um trabalho preventivo, identificando quais são os possíveis de ocorrer no futuro, as suas causas e respetivas soluções, ou formas de efetuar o mesmo de modo mais eficiente.

Segundo Pinto [5], a melhoria contínua acontece com a rotação, sucessiva e sistemática, do ciclo PDCA, Figura 3, aproveitando a aprendizagem efetuada no ciclo atual, para melhorar o desempenho no ciclo seguinte, e assim sucessivamente. Esta pode também ser sempre aplicada em processo com desempenho considerado satisfatório, pois existe sempre situações e pormenores que podem e devem ser otimizados.

O ciclo PDCA pode ser utilizado na gestão de topo e qualquer processo da organização, no entanto, deve-se ter em atenção alguns pontos, particularmente:

- Fazer sem planear;
- Parar após uma volta do ciclo;
- Fazer e não verificar;
- Não agir corretivamente;

Resumidamente, a organização deve identificar e gerir os seus processos, utilizando a metodologia PDCA para obter os resultados desejados, que se traduzem em produtos e serviços conformes.

2.3.3.2. DMAIC

O DMAIC é um ciclo de melhoria utilizado para melhorar, otimizar e estabilizar processos e projetos de negócios. Este ciclo é a principal ferramenta usada para orientar projetos Seis Sigma, porém a aplicação da mesma não é exclusiva para estes projetos, a mesma pode ser aplicada em qualquer situação em que se deseja implementar melhorias. O DMAIC é semelhante ao ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), pois opera de forma contínua, visando sempre à melhoria contínua.

DMAIC é o acrônimo em inglês para cinco passos: **D**efinir, **M**edir, **A**nalisar, **M**elhorar e **C**ontrolar (***D****efine, **M****easure, **A****nalyze, **I****mprove and **C****ontrol).* Cada um destes passos deve ser executado como demonstrado na Figura 4, em primeiro lugar a etapa de Definir, e a última etapa será Controlar [10].

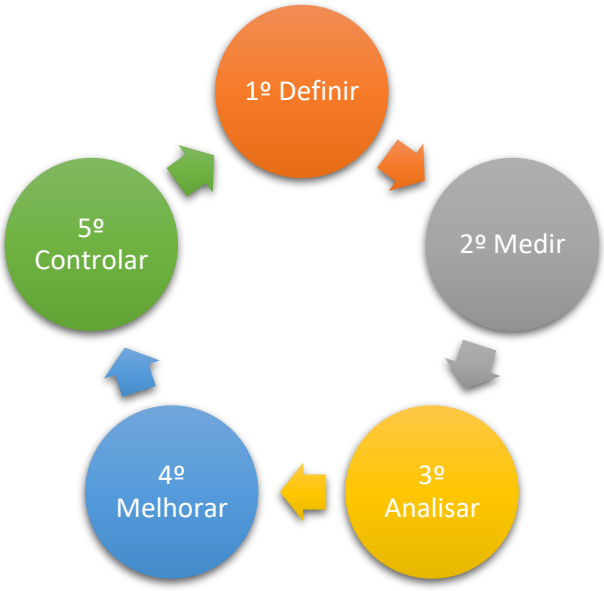

Figura 4 - Ciclo DMAIC [autor]

Na primeira etapa “Definir”, o objetivo desta etapa é definir o problema. Para isso é necessário formar uma equipa que irá trabalhar no projeto, escolhendo os colaboradores mais especializados de diferentes áreas para que vários pontos de vista possam ser utilizados, selecionar os problemas de forma objetiva. Para auxiliar esta etapa, o *Brainstorming* e a análise dos KPI’s (*Key Performance Indicators)* da empresa podem ser utilizados.

A segunda etapa “Medir”, avalia o desempenho do processo e analisa quantitativamente antes de aplicar ações (assim é possível comparar o desempenho antes e depois), é realizado o levantamento dos dados e informações sobre os processos e possíveis causas dos problemas. De forma a ajudar, é possível utilizar o Diagrama de *Ishikawa* e o Diagrama de Pareto.

Na terceira etapa “Analisar”, a equipa analisa os motivos para quais os erros estão a acontecer, pensam nas causas raiz dos problemas, analisa as melhores formas de contra-atacar essas causas e cria oportunidades de melhoria. Esta etapa deverá exigir mais tempo do que as outras, de forma a realizar-se uma boa análise.

A quarta etapa “Melhorar”, nesta fase a equipa já sabe o que causou os erros do processo, assim é imprescindível resolvê-los. Usando os dados da etapa anterior, é possível selecionar maneiras inovadoras de corrigir e melhorar o processo em análise. Deve ser testado previamente possíveis ações, tendo em vista os seus prós e contra, o plano de ação é executado de acordo com as necessidades específicas de cada processo. Muitas vezes, esta etapa é vista como a mais desafiadora. Para ajudar o desenvolvimento desta etapa, pode ser aplicado o método 5W2H.

A quinta, e última etapa, “Controlar”, é realizada a avaliação do alcance do objetivo do projeto a longo prazo. Os resultados obtidos após implementação das soluções em larga escala devem ser monitorizados para se comprovar a solução do problema de uma forma permanente. Para isto, o desenvolvimento do plano de ação tem de ter obrigatoriamente um acompanhamento, os critérios de controlo devem ser estabelecidos (check-lists, estatísticas). Aplica-se, um conjunto de ferramentas, tais como, o diagrama de Pareto, Cartas de Controlo, Histogramas para realizar esta etapa.

Caso o resultado da avaliação, no final do ciclo, não seja favorável às melhorias definidas, o ciclo deve ser reiniciado, voltando à primeira etapa, para verificar se houve algum problema ou falha na definição ou medição dos indicadores. Este processo deve ser repetido até que a melhoria desejada seja atingida [11].

2.3.3.3. PDCA *vs* DMAIC

Abaixo podemos encontrar uma breve relação entre as etapas do ciclo PDCA e do método DMAIC.

Na fase **Planear**, ao analisar ambos os ciclos, podemos ver que o método DMAIC tem uma fase de planeamento mais detalhada. Enquanto no ciclo PDCA a identificação do problema, análise do fenômeno e análise do processo são feitas numa única fase, a etapa Planejar (*Plan*), em que no ciclo DMAIC essas ações são seccionadas em etapas diferentes. A fase de identificação do problema é feita na etapa de Definição (*Define*) e a análise da causa e do processo são feitos nas etapas de Medição (*Measure*) e Análise (*Analyze*). Ao dividir essas etapas, podemos estudar cada uma delas de forma mais detalhada, tornando possível uma melhor compreensão do problema e um planeamento mais eficiente.

Na fase de **Elaborar e Executar**, no ciclo PDCA, a elaboração de planos de ação é realizada na etapa Planear (*Plan*). Já no cilco DMAIC, entramos na etapa de Melhoria (*Improve*), onde se procurar analisar que planos de ação propostos vão gerar mais resultados sem efeitos colaterais que venham prejudicar outra área do processo.. Ao utilizar este dois ciclos de melhoria contínua, procuramos otimizar cada vez mais a nossa produção, sem ter atrasos na mesma. Logo, passamos para etapa Executar (*Do*) do PDCA, enquanto no ciclo DMAIC a execução é feita também na etapa de Melhoria. Nesta fase de execução, é colocado em prática os planos de ação elaborados e priorizados anteriormente.

Na última etapa, **Controlar**, no ciclo PDCA esta etapa é dividida em duas, Controlo (*Control*) e Agir (*Action*), enquanto no DMAIC não há divisão. Em ambos os ciclos, esta fase é responsável por controlar os resultados obtidos, analisando se foram satisfatórios e garantindo a sua sustentabilidade. Afinal, estes são ciclos de melhoria contínua, então é necessário um constante progresso, não podendo retroceder no mesmo.

As semelhanças entre os ciclos, são métodos de solução de problemas; Trabalham dentro do contexto de melhoria contínua e possuem uma fase de planejamento – execução – controle. Utilizam ferramentas quantitativas e qualitativas.

As diferenças são, o ciclo PDCA geralmente utiliza ferramentas estatísticas mais simples, enquanto o ciclo DMAIC recorre a recursos estatísticos mais avançados; O ciclo DMAIC possui uma fase de planeamento mais detalhada, permitindo um estudo mais aprofundado dessa etapa. Por utilizar ferramentas mais avançadas e permitir uma análise mais estruturada da etapa de planeamento, o DMAIC é utilizado como método base na metodologia Seis Sigma.

2.3.4. Qualidade no processo

A visão histórica mais consolidada da qualidade é a sua dimensão operacional. Esta conceção está centrada no fato de que a qualidade deve ser criada a partir do processo produtivo. Este princípio básico fez com que convergissem para o processo produtivo todos os esforços da qualidade. E determinou, por consequência, que a maioria das ferramentas utilizadas para este fim fossem centradas em melhorias no processo produtivo. A visão estratégica da qualidade acabou por mudar este quadro, passando a observar a análise do valor concedido pelo consumidor ao produto ou aos serviços. [12]

Antes que fosse solidificada a perceção de que a qualidade precisava de ser gerada no processo produtivo, o esforço dos especialistas na área estava centrado na qualidade do produto. Para tanto, foram desenvolvidos instrumentos de avaliação do produto acabado, por meio de inspeções e análise de amostras. Rapidamente foi percebida a ineficiência deste procedimento, a inspeção do produto acabado não tem o poder de alterar a qualidade do próprio produto. No entanto as informações desta inspeção podem ser valiosas para as novas ações na linha produtiva, ou seja, esta inspeção torna-se útil na medida em que transmite as informações obtidas na avaliação feita para o processo, traduzindo-se em melhorias no mesmo. Como o produto é o resultado do processo, é dado a prioridade as ações orientadas para o processo, isto é, para as causas e não para os efeitos.

A relevância da qualidade no processo centra-se na eliminação de defeitos, que ocorre ao longo de fases bem definidas, que vão desde a deteção dos defeitos, seguindo a seu retrabalho (reparação) e termina na eliminação das suas causas (ações preventivas e ações corretivas). De alguma forma, esta conceção nunca mudou, o que se alterou ao longo dos anos foi a noção de defeito, onde nos dias de hoje foi substituído pela noção de perda, muito mais amplo.

A idealização operacional da qualidade, numa forma mais abrangente, dá origem à gestão da qualidade no processo. A gestão da qualidade no processo pode ser definida de forma breve, como direcionando todas as ações do processo produtivo para o pleno atendimento do cliente. A estratégia básica para que tal aconteça, consiste na melhor organização possível do processo, o que se viabiliza ao longo de três etapas, eliminação de perdas, a eliminação das causas das perdas e por fim a otimização do processo.

Desta forma, a qualidade no processo centra-se no empenho pela melhoria do processo produtivo. Dois conjuntos de procedimentos são típicos nesse esforço, o plano de ações e as melhorias do processo de produção.

Assim, um processo de qualidade tem os *inputs* (entradas) corretos e executa as ações certas para produzir os outputs (saídas) que atendam às necessidades dos processos do cliente.

Existem quatro pontos onde a qualidade pode ser especificada e verificada, nomeadamente: [7]

- *Entry Criteria:* Os critérios de entrada definem quais as entradas que são necessárias e qual a qualidade que as mesmas devem ter para atingir os critérios de saída. Os critérios de entrada devem ser comunicados aos processos do fornecedor, para se tornarem os seus critérios de saída. Se os processos do fornecedor forem suficientemente bem controlados, não há necessidade de verificar os à entrada.
- *Task definitions:* As definições de tarefa especificam as ações no processo.
- *Validation definitions:* As definições de validação identificam pontos de controlo dentro do processo e definem os testes e critérios para verificação nos mesmos. Isso permite que os problemas sejam detetados na etapa onde o mesmo ocorre, reduzindo os custos de retrabalho e de rejeição e permite que as causas do problema sejam resolvidas.
- *Exit Criteria:* Os critérios de saída definem que saídas são necessárias e qual a qualidade que as mesmas devem ter para atender às necessidades dos processos do cliente. Os critérios de saída podem ser derivados dos critérios de entrada dos processos do cliente.

Juntos, eles compõem o modelo ETVX (*Entry, Task, Verification, and Exit)*, exemplificado na Figura 5, que pode ser usado para definir o processo e a qualidade necessária dentro dele.

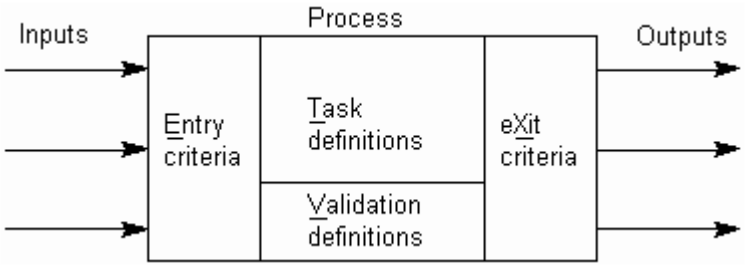

Figura 5 - Exemplo do modelo ETVX [7]

2.4. Ferramentas da Qualidade

Geralmente, o objetivo de negócios de todas as empresa é o sucesso em fazer negócios. Este sucesso é demonstrado através da qualidade reconhecida pelo cliente dos produtos e serviços da empresa. No entanto, a definição de qualidade é amplamente baseada em critérios e opiniões subjetivas do cliente.

Tornar-se mais objetivo na introdução da avaliação da qualidade de padrões para a gestão da qualidade torna-se uma necessidade [13].

Desta forma, ao longo de todo o processo produtivo e de forma a controlar e melhorar a qualidade do produto, é imprescindível recorrer a outro tipo de recursos para analisar a evolução do mesmo. Para tal, é essencial o uso de ferramentas da qualidade permitindo desta forma recolher, organizar e analisar detalhadamente muitas situações que se não forem resolvidas atempadamente puderam comprometer o produto final. No entanto, remetem ainda para mudanças que possam promover uma melhoria no processo.

Segundo Eduardo Barbosa, as ferramentas da qualidade são recursos a serem utilizados na aplicação da metodologia de solução de problemas. Têm a finalidade de medir, definir, analisar e propor soluções para os problemas que interferem no bom desempenho dos processos de trabalho. As mesmas permitem um maior controlo dos processos ou melhorias na tomada de decisões [14].

As ferramentas expostas nesta dissertação são as sete ferramentas clássicas da qualidade (Fluxograma, Folhas de Verificação, Diagrama de *Ishikawa*, Diagrama de Pareto, Diagrama de Dispersão, Histograma e as Cartas de Controlo), o *Brainstorming*, o 5W2H, o *FMEA* e por último os *Quality Gates*. Esta ferramentas foram escolhidas tendo por base a implementação dos *Quality Gates* e também por serem as utilizadas na empresa onde foi realizado o estudo, assim foi necessário aprofundar o conhecimento de cada uma.

As ferramentas de qualidade apresentadas ao longo da dissertação têm uma estrutura standard, seguindo a metodologia utilizada por David Straker [7].

Esta estrutura é composta por seções, nomeadamente:

- Para que serve a ferramenta: descrição do propósito da ferramenta;
- Quando deve ser utilizada: descrição de situações básicas de quando se deve aplicar a mesma;
- Como entendê-la: esta seção ajuda a perceber a ferramenta, sem saber necessariamente o detalhe de como a mesma é aplicada;
- Como fazer isso (passo-a-passo): instruções passo-a-passo de como aplicar a ferramenta na prática;

2.4.1. SIPOC

O SIPOC é uma ferramenta que se aplica na melhoria de processos, que apresenta as entradas e saídas de um ou mais processos. A sigla SIPOC significa ***S**upliers* (fornecedores), ***I**nputs* (entradas), ***P**rocess* (processo), ***O**utputs* (saídas) e ***C**ustomers* (clientes), como pode ser verificado na Tabela 2. Os fornecedores e clientes representam o 'Quem', entradas e saídas representam o 'o Quê' e o processo é o 'Como'. Além da melhoria de processos, o SIPOC, aparece também na fase de "Definição" do DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve* e *Control).*

Tabela 2 – SIPOC [15]

S	I	P	O	C
***S**UPPLIERS* (Fornecedores)	***I**NPUTS* (Entradas)	***P**ROCESS* (Processo)	***O**UTPUTS* (Saídas)	***C**USTOMERS* (Clientes)
QUEM?	O QUÊ?	COMO?	O QUÊ?	QUEM?

Esta ferramenta é ainda utilizada para categorizar como várias entidades interagem com o processo, dividindo o âmbito deste em vários segmentos e ajuda a equipa responsável por este a definir o âmbito do processo e a chegar a um consenso em relação ao seu propósito. Permite identificar relações entre os processos existentes através das entradas, saídas, fornecedores e clientes destes. Auxilia, ainda, a entender quais são as entradas necessárias para obter as saídas pretendidas [15].

Esta ferramenta pode ser seguida e aplicada em 6 passos, nomeadamente:

1º Passo: Definir ou Identificar o nome do processo;

2º Passo: Definir as saídas do processo, as saídas são os resultados de um processo, por exemplo, um relatório, uma carta, um produto;

3º Passo: Definir os clientes do processo, são as pessoas, empresas ou outros processos internos da organização que recebem as saídas do processo. Todas as saídas possuem um cliente;

4º Passo: Definir as entradas do processo, indicar os elementos necessários para iniciar o processo;

5º Passo: Definir os fornecedores do processo, são as pessoas ou outros processos que fornecem as entradas. Neste passo, todas as entradas devem possuir um fornecedor. Em alguns processos, que vão do início ao fim, o fornecedor e o cliente poderão ser a mesma pessoa ou o mesmo processo;

6º Passo: Definir as macro atividades do processo, estes são os passos que transformam as entradas em saídas. Como o SIPOC deve representar uma visão de alto nível, devemos restringir a no máximo 4 ou 5 passos nesse momento. As mesmas vão ser a base para o mapa do processo a ser criado após a elaboração do SIPOC.

2.4.2. Brainstorming

De acordo com Juran, o *Brainstorming* ferramenta de auxílio à criatividade de grupo para gerar ideias construtivas e criativas de todos os participantes, sendo indicada para a pesquisa de soluções ou de causas de um problema num processo de fabrico [16].

Este método foi criado por Alex Osbom, em 1939, e tem por objetivo gerar, em grupo, de forma interativa e num ambiente livre e descomplexado, ideias e opiniões, sobre um processo ou atividade previamente escolhido, tanto para identificar potenciais problemas ou oportunidades de melhoria, quer para procurar e analisar soluções para os mesmos [5].

Para que serve: é utilizado para auxiliar um grupo a criar tantas ideias quanto possível no menor espaço de tempo possível.

Quando deve ser utilizada: o *brainstorming* deve ser utilizado quando:

- são requeridas novas ideias de forma a gerar uma grande lista de possibilidades;
- a solução para um problema não pode ser logicamente deduzida;
- a informação sobre o problema é confusa e está "espalhada" por diversas pessoas, desta forma reúne-se toda a informação no mesmo sítio.

Como entendê-la: O *brainstorming* pode ser de dois tipos, pode ser estruturado ou não estruturado. No tipo estruturado, cada membro do grupo deve expor uma ideia somente quando for a sua vez ou então deve passar a vez e aguardar até a próxima volta. Esta técnica tem a vantagem de evitar que os colaboradores mais desinibidos se destaquem e, por conseguinte, dá a todos igual oportunidade de participar, promovendo um maior envolvimento de todos os integrantes, até mesmo os mais tímidos. [17]

O *brainstorming* termina quando, numa ronda, nenhum dos participantes do grupo tiver mais ideias para expor e todos passarem a sua vez.

No tipo não estruturado, os membros do grupo apresentam ideias a medida que as mesmas lhes vão surgindo. Isto tende a criar um ambiente mais informal, mas, geralmente, os membros mais extrovertidos dominam a sessão de trabalho. A sessão é dada como terminada quando ninguém tiver mais ideias e todos estiverem de acordo que a sessão deve terminar [5].

Como fazer isso (passo-a-passo): Habitualmente este método é executado em seis etapas.

A primeira etapa é a constituição da equipa, a mesma dever ter a constituição adequada ao assunto que se pretende analisar. A equipa deve ser constituída pelos membros área/processo que apresenta dificuldades ou que se quer otimizar e especialistas nessa matéria. Devem ser ainda convidados

colaboradores criativos de outras seções da organização. Os participantes devem ser reunidos numa sala, preferencialmente em torno de uma mesa e virados para um *flipchart* ou para um quadro. O responsável do processo lidera a sessão, no caso de o responsável não puder participar, deve ser escolhido um dos membros da sessão para a orientar, o mesmo têm de conhecer bem o assunto que vai ser abordado. O orientador da reunião fica ainda com o encargo de anotar todas as ideias que cada membro for apresentando.

A segunda etapa é definir o assunto e o objetivo, o assunto é o problema que se pretende analisar e resolver. Usualmente está relacionado a um resultado que se quer atingir, ou a um problema cujas causas se pretendem encontrar. Definido o assunto, é necessário estabelecer o objetivo, que irá condicionar a forma como o assunto vai ser abordado. Por exemplo, se o assunto for a definição de uma nova embalagem de um sumo, pode-se abordar este assunto com diversos objetivos distintos, como:

- Qual embalagem utilizar (e porquê)?;
- Que cores utilizar (e porquê)? ;

Para se ter um melhor aproveitamento da reunião, os objetivos devem ser tratados um a um.

A terceira etapa é a "produção" de ideias, nesta fase o pretendido é gerar a maior quantidade possível de ideias. Deve-se ter em consideração alguns pontos, nomeadamente:

- O exercício deve estar focado no objetivo previamente definido e de forma clara;
- Todas as ideias expressas nesta fase não devem ser criticadas;
- As ideias devem ser formuladas mesmo que, aparentemente, se afigurem caricatas;
- O orientador da reunião, como já redigido acima, anota todas as ideias expostas e o mesmo não deve realizar críticas, pode também participar com ideias, expressando-se em voz alta para o grupo e anotá-la de seguida;
- O orientador deve ler, com alguma periodicidade, todas as ideias já mencionadas até ao momento;

A quarta etapa é a da crítica, nesta etapa o pretendido é analisar a qualidade das ideias produzidas na etapa anterior. Para se realizar esta seleção é necessário proceder-se à crítica de todas as ideias registadas. De uma forma organizada e mais correta é, o orientador ler todas as ideias, uma a uma, tendo sempre em mente se a ideia contribui ou não para o foco do problema, se contribuir a ideia mantém-se, caso contrário a ideia é eliminada da lista.

Na quinta etapa, são agrupadas as ideias selecionadas na etapa antecedente, de forma a gerar grupos de ideias, de onde as mesmas devem ser agrupadas por semelhança de conteúdo.

A etapa final é a conclusão, em que o objetivo é selecionar as ideias que, combinadas ou isoladamente cumprem o objetivo definido na segunda etapa.

2.4.3. Fluxograma

O fluxograma descreve a sequência do trabalho envolvido no processo, passo a passo, e os pontos em que as decisões são tomadas. É uma ferramenta básica da qualidade de análise e de apresentação gráfica do método ou procedimento envolvido no processo, onde se podem efetuar melhorias.
Esta ferramenta têm uma simbologia muito distinta, pois em cada etapa do processo, são apresentadas determinadas características, dependendo das pessoas envolvidas, sectores, sequências das operações, fluxo de informação e documentos envolvidos [18].

Para que serve: para mostrar os passos sequenciais de um processo;

Quando deve ser utilizada: o fluxograma deve ser utilizado quando: [7]

- se está a analisar ou a definir um processo, o detalhe das ações e as decisões a serem tomadas;
- se procura possíveis pontos problemáticos num processo;
- se pretende investigar o desempenho de um processo, de forma a ajudar a identificar onde e como é melhor medido;
- se pretende comunicar ou realizar alguma formação, de maneira a explicar ou concordar com detalhes de um processo

Como entendê-la: Para melhorar um processo, é necessário primeiramente entender as suas operações em detalhe, ao descrever todo o processo em forma de texto perde-se a clareza comparado com a forma de um fluxo, onde as etapas são mais fáceis de identificar e interpretar, permite a visão gráfica e global de todo o processo. O fluxograma é formado por módulos, nós e ligações e traçam o seu relacionamento e precedências e está dividido em três grandes seções, nomeadamente:

1. Inicio, onde são definidos os dados de entrada e a respetiva origem;
2. Processo, que consiste na determinação e na interligação dos módulos de todas as operações que compõem o processo;
3. Fim, onde são definidos os dados de saída e respetivos clientes, sendo esta a última fase do processo não pode existir mais ações posteriormente.

O Fluxograma deverá refletir a forma como o processo é executado realmente, e dever-se-á utilizar sempre a simbologia própria, ver Tabela 3.

O Fluxograma é muito útil e prático numa fase de definição de projeto, para identificar as oportunidades de mudança e as áreas que serão afetadas pelas mudanças propostas e por último, para verificar os vários passos de um processo. Contudo, um colaborador sozinho dificilmente conseguirá esboçar um bom fluxograma, o mesmo deverá ser sempre feito com outros colabores, podendo

definir-se uma equipa para o realizar. Os colaboradores que façam parte da equipa devem conhecer de fato os processos, atividades e fornecer as informações necessárias, pois um fluxograma deve ser elaborado conforme as etapas do processo acontecem na prática, se assim não for será extremamente difícil melhorar ou definir um processo. Caso seja necessário definir algumas tarefas e/ou etapas do processo, a equipa poderá usar o método *Brainstorming*.

Tabela 3 - Símbolos do Fluxograma, designação e respetivo significado [5]

Símbolos	Designação	Significado
	OPERAÇÕES	Representa os possíveis passos de uma rotina
	FLUXO DO PROCESSO	Indica o sentido e a sequência das fases do processo
	DECISÃO	Determina o caminho a seguir no fluxo dentre as operações oferecidas
	TERMINAL	Representa o início ou o fim do processo
	DOCUMENTO	Representa a entrada ou saída de documentos em determinada operação e o número de vias do mesmo
	RESPONSABILIDADE	Representa o responsável ou os responsáveis pela operação
	CONETOR DE FLUXO	Indica conexões entre operações na mesma página
	CONETOR FORA DE PÁGINA	Utilizado para conectar páginas do fluxograma

Como fazer isso (passo-a-passo): Esta ferramenta pode ser aplicada em seis passos.

1º Passo: identificar e definir o processo a ser mapeado;

2º Passo: definir e reunir à equipa que deve trabalhar na descrição do processo, tal como já foi mencionado acima, os colaboradores a ser incluídos na equipa devem conhecer e estar intimamente envolvidos no processo, pois o fluxograma não deve ser uma vista idealizada;

3º Passo: concordar com a simbologia do fluxograma, como os exemplos demonstrados na Tabela 1, cada empresa poderá ter uma simbologia standard, podem ter os mesmos símbolos, mas ter uma designação e significado diferentes;

4º Passo: começar a desenhar o processo em forma de fluxograma, o mesmo inicia-se com o quarto símbolo da Tabela 1, o "terminal", que representa o início e o fim do processo;

5º Passo: adicionar a primeira caixa abaixo do "terminal", para ajudar a definir a mesma, deve-se colocar a questão "O que acontece primeiro?", consoante a resposta, deve ser selecionado o símbolo adequado à etapa do processo. De seguida, adiciona-se caixas subsequentes abaixo da anterior, para facilitar a definição das mesmas, coloca-se a questão "O que acontece a seguir?", entre as caixas deve ser sempre utilizado o segundo símbolo representado na Tabela 1, pois indica o sentido e a sequência das fases do processo;

Ao construir um fluxograma pode-se ter em consideração alguns pontos, particularmente:

- Manter as descrições curtas e simples;
- Manter um nível consistente de informação e detalhe;
- Identificar e incluir as principais decisões no processo;
- Usar direções consistentes para as linhas de fluxo "sim" ou não", provenientes das caixas de decisão (terceiro símbolo da Tabela 1), isto pode ajudar a evitar interpretações não tão corretas, por outras pessoas que leiam o fluxograma;
- O fluxo principal deve fluir do topo para baixo;

6º Passo: se o fluxograma for para ser utilizado como parte de um sistema formal, fluxograma oficial, o mesmo deve estar identificado de forma exclusiva, isto inclui:

- O nome do processo, mais outra identificação única, como um documento numerado num sistema interno da empresa ou organização;
- O nome da pessoa ou grupo que elaborou o fluxograma;
- O responsável pelo mesmo e a sua função;
- O índice da revisão do fluxograma;
- A data da última da sua última revisão;

2.4.4. Folhas de Verificação

A folha de verificação é, essencialmente, um quadro para o lançamento do número de ocorrências de um certo evento. Observa-se o número de ocorrências de um problema ou de um evento e regista-se

na folha, de forma simplificada, a sua frequência. Outra aplicação usual da folha de verificação é como "folha de votação". É utilizada para que os participantes de uma reunião, após o trabalho de identificação e do agrupamento das causas de um problema ou de alternativas para a sua solução, indiquem aquelas que pareçam ser as mais significativas [19].

Os possíveis usos na estrutura de um projeto de melhoria são, medir o processo, identificar problemas e verificar a solução final para alterações ou melhorias.

Para que serve: para recolher dados manualmente de uma forma organizada e fidedigna.

Quando deve ser utilizada: as folhas de verificação devem ser utilizadas quando:

- se quer que os dados sejam registados manualmente, para garantir que os dados sejam gravados com precisão e sejam fáceis de usar posteriormente, ou para interpretação ou transcrição, como por exemplo, para um computador;
- o registo envolve contabilizar, classificar, verificar ou localizar a informação que está a ser verificada/analisada;
- for útil verificar cada medição à medida que está a ser registada, como por exemplo, se a medida está dentro ou fora das tolerâncias admissíveis;
- for útil ver a distribuição das medidas à medida que estão a ser construídas;

Como entendê-la: se a informação que está a ser recolhida é realizada de uma forma desorganizada, é muito provável que acabe como uma confusão de números, que são difíceis de interpretar e as folhas utilizadas para o registo dos mesmos se percam. Recolhendo os dados de uma forma organizada a probabilidade de ocorrer erros é menor na transcrição, na compreensão e no arquivo dos dados.
A folha de verificação é uma folha de papel organizada para simplificar e estandardizar a recolha manual dos dados e facilitar a interpretação dos resultados obtidos. Esta simplificação é caracterizada pelo o uso de "*checks*" ou "*marks*" para registar os eventos, em vez de se registar sob a forma de números ou texto. Isto permite que uma folha de verificação contenha um grande número de pontos de dados registados. Na Figura 6, encontra-se representado um exemplo, à esquerda é possível verificar a lista de defeitos desorganizada e à direita a folha de verificação que é mais fácil de usar e mais fácil de interpretar os dados recolhidos.

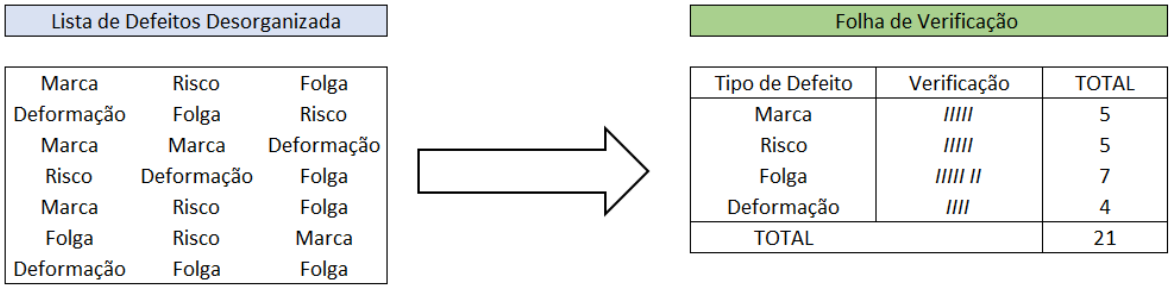

Figura 6 - Simplificar e estandardizar a recolha manual dos dados [Autor]

Existem três principais usos para as folhas de verificação. Primeiro, podem ser usadas para contabilizar itens, seja como contagem simples, como por exemplo, defeitos, ou para mostrar a distribuição de um conjunto de medidas. Esta contagem simples pode aparecer sob a forma de diagramas de pareto, enquanto a distribuição pode ser apresentada num histograma. Ao realizar o levantamento dos dados, a folha de verificação é também útil, pois a "imagem" geral (resultado do agrupamento dos dados) é formada à medida que se adiciona dados individuais, isto faz com que se tenha uma perceção dos resultados aquando da sua obtenção.

Segundo, podem ser utilizadas para mostrar a localização física de algo, por exemplo, a localização de um defeito num elemento fabricado, é bastante útil para encontrar agrupamentos significativos de medições que podem ajudar a encontrar problemas. Por último, podem ser utilizados para ajudar a solicitar uma ação e, consequentemente, serem assinalados para certificar que uma determinada ação foi realizada.

Interpretando e analisando as folhas de verificação, os problemas detetados podem ser ainda mais divididos e aprofundados, utilizando outras informações registadas nas mesmas sobre as circunstâncias em que as medições foram realizadas.

Como fazer isso (passo-a-passo): Podem ser seguidos alguns passos de forma a criar uma folha de verificação eficiente, nomeadamente:

1. Definir os objetivos da medição, respondendo a algumas questões e quais decisões devem ser tomadas. Consequentemente, identificar quais dados que precisam ser recolhidos e em que formato;
2. Identificar os dados que precisam de ser recolhidos sobre o processo. Deve ser incluído todas as variáveis que podem ser causas do(s) problema(s) ou que contribuem para a variação do resultado final, tais como, data, hora, operador, número do lote, referência da máquina;
3. Identifique o período e as circunstâncias da recolha de dados e, consequentemente, estimar o número máximo de registos por folha de verificação;
4. Projetar um modelo de uma folha de verificação, com o objetivo de facilitar os processos de recolha, transcrição e interpretação. Um modelo típico deve incluir:

- Um campo para os dados sobre o processo;
- Uma área para ao registo dos dados principais, organizada para que possa ser visualmente interpretada (fácil leitura). Esta área deve ser grande o suficiente para abranger o número máximo esperado de elementos de dados (definido na etapa anterior);
- Colunas ou linhas para registar os dados, prontos para a transcrição;
- Outros campos, tais como, operador que realizou a tarefa, data, máquina, número de lote de fabrico;

5. Antes de se colocar o modelo da folha de verificação desenvolvido em produção, deve ser testado primeiro, de preferência numa situação real e com diferentes operadores;
6. Deve ser assegurado que os colaboradores sabem utilizar a folha de verificação adequadamente, para isso, antes da sua implementação os colaboradores devem ter formação sobre a utilização e preenchimento;
7. Recolha dos dados inseridos nas folhas de verificação;
8. Interpretar e utilizar os resultados obtidos;

2.4.5. Diagrama Ishikawa

O diagrama de *Ishikawa*, também conhecido como diagrama de Espinha de Peixe, diagrama de causa e efeito ou diagrama dos 6M (seis atributos), tem este nome em homenagem ao seu criador, Kaoru Ishikawa, que desenvolveu esta ferramenta na década de 1940 [5].

É uma ferramenta de representação gráfica das possíveis causas que conduzem a um determinado efeito, ou seja, evidencia a relação entre o resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) desse mesmo processo que possam afetar os resultados a alcançar de um determinado objetivo [20].

A representação gráfica realizada através deste diagrama, permite que se determine uma sequência lógica, definindo qualitativamente a correlação entre eventos e entidades de um processo.

Para que serve: é usado para identificar e estruturar as causas de um determinado efeito;

Quando deve ser utilizada: o diagrama de *Ishikawa* deve ser utilizado, quando:

- Está a ser investigado um problema, para identificar e selecionar as principais causas do problema;
- É conhecido o sintoma principal/efeito de um problema, mas as causas possíveis desse problema não forem conhecidas ou não serem totalmente claras;

- Há sessões de trabalho de grupo, de forma a obter um entendimento comum das causas do problema e o seu relacionamento;
- Se pretende identificar potenciais riscos (ameaças ou oportunidades) no processo ou numa tarefa;

Como entendê-la: As soluções para os problemas nem sempre são fáceis de encontrar, e aquelas que ao princípio parecem ser óbvias podem apenas abordar sintomas, e não a verdadeira causa do problema. Identificar as causas numa etapa intermediária torna as soluções mais fáceis de encontrar, mais fáceis de aplicar e de o problema ser resolvido na sua totalidade. Desta forma, e para avaliar as causas ou fatores são analisados seis atributos (6M), nomeadamente: [5]

- Método, onde se inclui todos os procedimentos, rotinas e técnicos utilizados no processo;
- Matéria-prima (material), que inclui todo o que é relativo a materiais, como matérias-primas, peças, que podem influenciar o processo;
- Mão de obra (pessoas), inclui todos os aspetos no que diz respeito aos colaboradores ligados ao processo e que podem afetar o seu resultado;
- Máquinas (infraestruturas), abrange todos os aspetos relacionados com máquinas, equipamentos e instalações que podem influenciar os resultados finais do processo;
- Medição (monitorização), inclui tudo o que esteja relacionado com medições para monitorização do processo, como a verificação e calibração dos instrumentos de medida;
- Meio Ambiente (ambiente), engloba todas as condições ou aspetos ambientais que podem afetar o processo, como local, temperatura ambiente inadequada, layout da área de trabalho, resumidamente, tudo o que diz respeito a preservação do meio ambiente e a salvaguarda da segurança e da saúde dos colaboradores;

A análise dos 6M deve ser realizada pela equipa de trabalho e em sessões de *brainstorming*.
O diagrama de *Ishikawa* usa um layout específico para apresentar a hierarquia das causas, este layout tem a forma de uma espinha de um peixe, Figura 7, daí ser conhecido também como diagrama espinha de peixe.

Como se pode verificar na Figura 7, à frente (na “cabeça do peixe”) é descrito o problema ou o objetivo (efeito), nos elementos da espinha (setas laranjas) são colocados os seis atributos (6M), onde em cada atributo e após a sua análise são apresentadas causas (setas pretas) para esse atributo. Caso haja causas complexas, as mesmas podem ser decompostas (detalhadas) em subcausas (setas verdes), assim deste modo facilita a visualização de todas as causas que concorrem para o efeito, de forma a

compreender o foco principal do problema e avaliar a sua resolução com ferramentas e métodos adequados à eliminação das suas causas.

Na utilização do diagrama, quanto mais informação tiver disponibilizada sobre o problema que está a ser avaliado, mais hipóteses haverá de o resolver com eficácia.

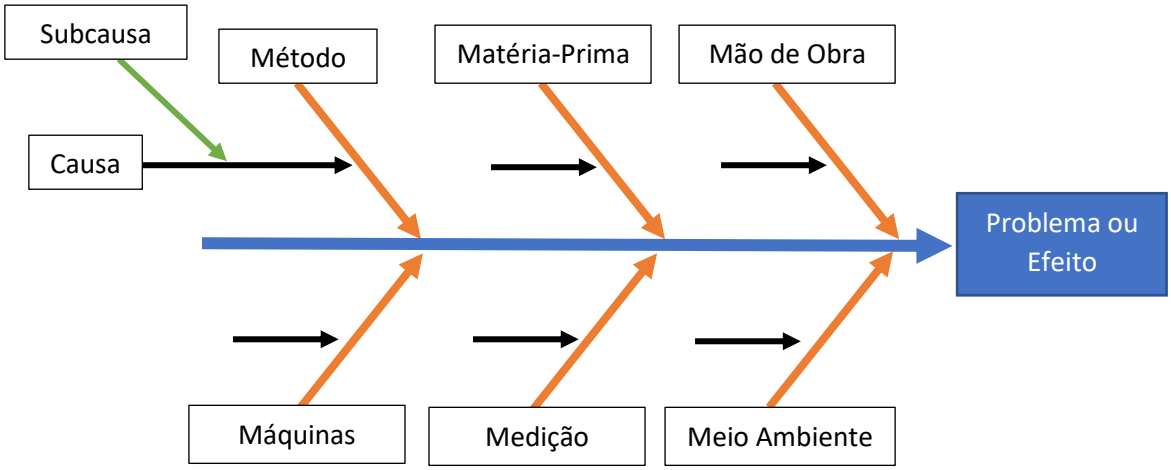

Figura 7 - Diagrama de Ishikawa [autor]

Como fazer isso (passo-a-passo): Esta ferramenta pode ser aplicada seguindo os cinco passos apresentados.

Primeiramente deve ser formada uma pequena equipa para trabalhar no problema. Se ainda não estiver definido o problema ou o objetivo (efeito) a analisar, este deve ser definido em primeiro lugar, deve-se utilizar frases breves e claras, é importante ser-se objetivo.

No segundo passo, é construído o diagrama espinha de peixe, desenha-se uma seta da esquerda para a direita (seta azul da Figura 7) e é escrito o problema ou efeito no interior do retângulo (retângulo azul da Figura 7).

No terceiro passo, desenha-se seis espinhas diagonais (setas laranja da Figura 7), cada uma representa os seis atributos (6M – Método, Matéria-prima, Mão de obra, Máquinas, Medição e Meio ambiente).

No quarto passo, dá-se início a análise dos 6M, deve ser analisado um a um, adicionando causas (setas pretas da Figura 7) e só se deve avançar para o próximo quando já não houver mais causas ou subcausas. Deve ser tem atenção nas causas que são colocadas no diagrama, pois as mesmas podem ser soluções para o problema. Para ajudar a encontrar mais causas pode-se seguir alguns tópicos, particularmente:

- Continuar a perguntar “Porque?”;

- Olhar para o diagrama para procurar padrões;
- Devem ser envolvidas outras pessoas, em especial, as que possuem mais experiência nas áreas problemáticas;
- Realizar diversas sessões de trabalho, dar por terminada cada sessão quando não forem sugeridas mais causas;

No último passo, são criadas as ações, planeadas e implementadas através de planos de ação, para resolver as causas que foram identificadas no diagrama.

2.4.6. Diagrama de Pareto

Esta ferramenta foi criada pelo economista Vilfredo Pareto (1848-1922), o mesmo estudou a distribuição da riqueza, sendo que outro economista, M.C. Lorentz, é que lhe atribuiu as suas características visuais [5].

Para que serve: para identificar e focar problemas principais;

Quando deve ser utilizada: O diagrama de pareto deve ser utilizado, quando:

- Se pretende selecionar os itens mais importantes, possibilitando uma centralização de esforços sobre os mesmos;
- Se quer apresentar uma mudança relativa de um elemento medido, deve ser usado antes e depois de melhorar um processo, para ter uma base comparativa;
- É pretendido controlar as causas de defeitos e outros problemas, como por exemplo, produção de itens com defeitos e/ou falha, despesas extraordinárias, acidentes de trabalho, avarias de equipamentos, entre outros;
- Se classifica um conjunto de medidas, para enfatizar os seus tamanhos/quantidades relativas;

Como entendê-la: É uma ferramenta muito aplicada nas análises de problemas e em tomadas de decisões. É também conhecida como diagrama 80-20, de onde o seu princípio base é um pequeno número de causas vitais (geralmente 20%) ser responsável pela maioria dos problemas (80%). [21]
Permite identificar os tipos de defeitos que contribuem com relevância para a não qualidade de um produto ou serviço e à consequente análise ABC, cada letra representa uma classe apresentada abaixo:

- Classe A, de grande relevância, representa 20% das causas que originam cerca de 80% dos problemas;
- Classe B, de média relevância, refere que 30% das causas seguintes produzem 15% dos efeitos;

- Classe C, de pequena relevância, representa as restantes causas (50%) responsáveis por apenas 5% dos efeitos;

Dado um conjunto de problemas recorrentes, é improvável que cada problema ocorra o mesmo número de vezes em qualquer período. De fato, é bastante comum que alguns problemas ocorram com mais frequência do que outros que estão a ser medidos. Esta distribuição desigual ocorre em diversas situações e é usada para destacar os mais frequentes dos menos [7].

O diagrama de pareto é simplesmente um gráfico de barras, onde as barras são ordenadas por frequências (número de ocorrências), sendo a que têm uma maior ocorrência é posicionada à esquerda no início do gráfico. Desta forma, não só mostra a prioridade absoluta de cada barra, através da sua posição no gráfico, mas também a sua prioridade relativa, através da sua altura em comparação com as outras barras.

Como se pode verificar na Figura 8, o item número 3 apresentado na Tabela 4, com um valor de 30, é o item com maior ocorrência de defeitos medidos, assim quando se elabora o gráfico de pareto (Figura 8), pode constatar-se que fica à esquerda do gráfico e assim sucessivamente com os restantes itens. Na Tabela 4, os valores do número total de defeitos medidos por item já se encontram por ordem de crescente, pois a tabela já está organizada dessa forma, pois é visível que os itens não se encontram ordenados.

Tabela 4 – Dados para o gráfico de pareto [Autor]

Item	Número Total de Defeitos medidos por Item	Acumulado	Percentagem	Percentagem acumulado
3	30	30	39,5	39,5
5	19	49	25,0	64,5
1	14	63	18,4	82,9
2	9	72	11,8	94,8
4	4	76	5,3	100,0
TOTAL	76		100,0	

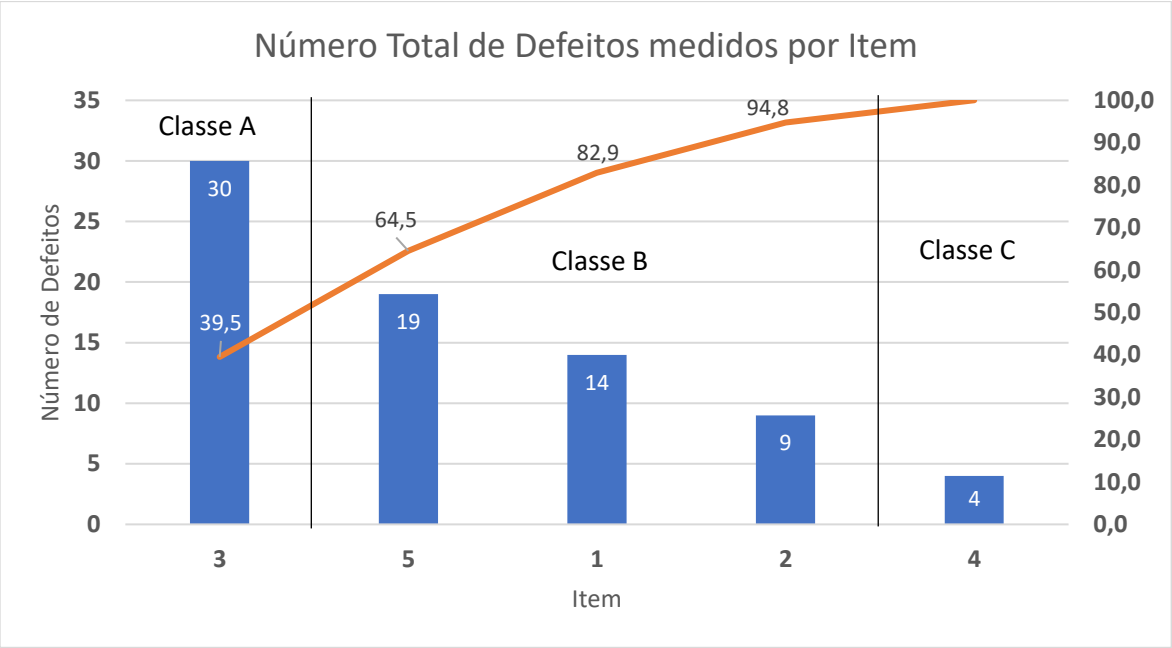

Figura 8 - Exemplo de um diagrama de pareto [Autor]

Como fazer isso (passo-a-passo): Para construir o diagrama de pareto:

1. Determina-se as categorias/grupos para a análise dos dados;
2. Define-se a forma e periocidade da recolha dos dados que se pretende analisar;
3. Constrói-se uma tabela de frequências e regista-se os dados recolhidos;
4. Construir o gráfico:
    a. Traçar o eixo horizontal do gráfico, o mesmo deve ser divido em tantas pares iguais quantas as categorias ou grupos que foram definidos;
    b. Traçar o eixo vertical e regista-se as frequências;
5. Marcar as frequências simples nas barras verticais e traçar uma linha com as frequências acumuladas;

Sendo que na atualidade a construção de tabelas e gráficos pode ser realizada através aplicações informáticas.

2.4.7. Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão, também conhecido como gráfico de dispersão, gráfico de correlação ou gráfico XY, consiste num gráfico baseado no sistema de coordenadas cartesianas, no qual os atributos a analisar são referenciados nos eixos *x* e *y* [21].

Para que serve: Permite estudar a relação entre duas variáveis quantitativas e a consequente verificação de possíveis relações entre causas, resumindo, mostra se existe ou não alguma relação e o respetivo grau de associação.

Quando deve ser utilizada: Este tipo de diagrama deve ser utilizado quando:

- A variação de duas variáveis estão relacionadas de alguma forma, para mostrar qualquer correlação atual entre as mesmas;
- Se pretende analisar se uma variável está a dar origem a outra variável, de forma a construir evidências para mostrar a ligação entre as duas;
- Se quer validar se dois efeitos ocorrem a partir de uma mesma causa, este ponto é bastante útil quando se têm várias não conformidades com uma mesma causa raiz e validar se a correlação é verdadeira;
- As variáveis a medir, estão a ser medidas juntas, em pares;

Como entendê-la: O diagrama de dispersão usa-se para verificar se duas variáveis estão, ou não, relacionadas. Esta relação entre as variáveis é chamada de correlação, e existem 3 tipos: positiva, negativa e nula, e com diferentes níveis de correlações, nomeadamente, correlação fraca, forte e perfeita.

Tipos de Correlação:

- Correlação positiva: quando há uma aglomeração dos pontos em tendência crescente, conforme uma variável aumenta, a outra variável também aumenta (y cresce quando x cresce), exemplificado na Figura 9;

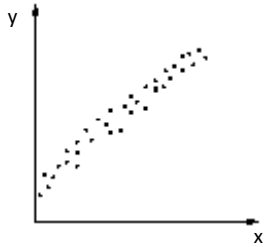

Figura 9 - Exemplo de uma correlação positiva [7]

- Correlação Negativa: quando os pontos se concentram numa linha que decresce, significa que conforme uma variável aumenta, a outra variável diminui (y decresce quando x cresce), exemplificado na Figura 10;

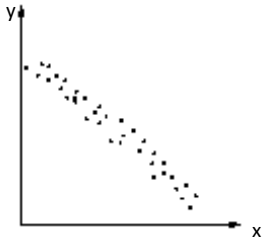

Figura 10 - Exemplo de uma correlação negativa [7]

- Correlação Nula: quando há uma grande dispersão entre os pontos a ou eles não seguem tendência positiva nem negativa, significa que não há nenhuma correlação aparente entre as variáveis, exemplificado na Figura 11;

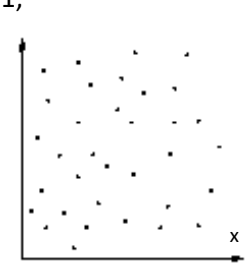

Figura 11 - Exemplo de uma correlação nula [7]

Níveis de correlação:

- Fraca: Quanto maior for a dispersão dos pontos menor será a correlação entre variáveis, exemplificado na Figura 12;

Figura 12 - Exemplo de uma correlação fraca [7]

- Forte: Quanto menor for a dispersão dos pontos maior será a correlação entre variáveis exemplificado na Figura 13;

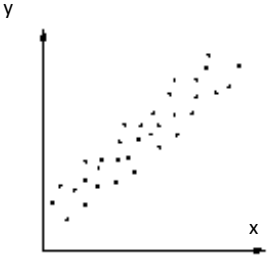

Figura 13 - Exemplo de uma correlação forte [7]

- Perfeita: Todos os pontos estão perfeitamente alinhados numa linha reta exemplificado na Figura 14;

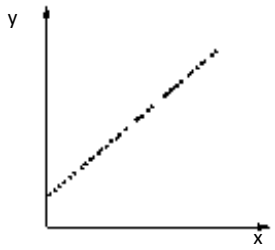

Figura 14 -Exemplo de uma correlação perfeita [7]

De forma, a medir o grau de associação entre duas variáveis é necessário medir-se o grau de correlação.

O coeficiente de correlação, r, fornece um valor numérico ao grau de correlação. Este valor (r) varia entre -1 e +1. Os valores de r próximos de -1 ou +1 indicam uma correlação forte e se estes forem aproximados de zero indicam uma correlação fraca. O sinal de r indica se a correlação é positiva ou negativa.

Como fazer isso (passo-a-passo):

1. Determinar as duas variáveis que se pretende comparar. A variável independente (causa) no eixo horizontal e a variável dependente (efeito) no eixo vertical;
2. Estabelecer o nome das variáveis;
3. Determinar o período da recolha e o tamanho da amostra. Coletar os dados dessas duas variáveis de forma a compor os gráficos;
4. Desenhar os dois eixos do gráfico, e colocar as variáveis como indicado no ponto 1;
5. Colocar os dados no gráfico, desenhando um ponto para cada uma das ocorrências dos dados;
6. Verificar a disposição dos pontos no gráfico para identificar se há correlação positiva, negativa ou nula.

2.4.8. Histograma

O Histograma, conhecido também por gráfico de distribuição de frequências, foi desenvolvido em 1833 por André Michel Guerry, estatístico francês, quando efetuava uma análise dos dados obtidos de um estudo de ocorrências criminais. Porém, só em 1891 é que surgiu a palavra histograma, quando Karl Pearson, fundador do Departamento de Estatística Aplicada na *University College London* em 1911,

onde estudava o uso das diferentes aplicações da matemática como ferramenta pedagógica para descobrir a verdade dos factos [18].

Para que serve: é utilizado para visualizar e comparar as características de um conjunto de dados agrupados em intervalos de classe convenientes e organizados em ordem de grandeza (análise quantitativa). Tem como objetivo identificar os padrões de variabilidade (distribuições de frequência) inerentes a um dado processo, com o propósito de analisar as possíveis causas, em função da forma da sua distribuição [22].

Quando deve ser utilizada: O histograma é utilizado para variáveis numéricas contínuas. Pode ser também aplicado quando: [7]

- Se analisa a distribuição de um conjunto de medições;
- Existir a suspeita de que há vários fatores que estão a afetar um processo, desta forma os mesmos irão aparecer na distribuição;
- Pretender-se definir limites de especificação razoáveis para um processo analisando a distribuição real;
- Pretender-se ver a forma real da distribuição, em vez de se realizar os cálculos para os valores únicos como a média ou desvio padrão;

Como entendê-la: O histograma é um modelo estatístico para a organização dos dados, exibindo a frequência que uma determinada amostra de dados ocorre, ou seja, é uma representação gráfica da distribuição de frequências. Permite distinguir a forma, o ponto central e a variação da distribuição, é possível ainda obter-se outras informações tais como, a amplitude e simetria na organização dos dados, como é possível visualizar o exemplo na Figura 15.

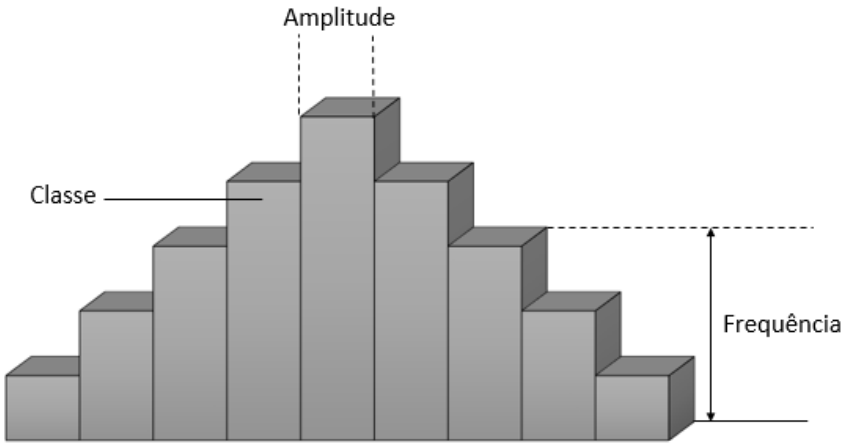

Figura 15 - Exemplo de Histograma [7]

Os dados são agrupados em classes e cada classe exibe o número ou percentagem de observações que contém. Assim o número de classes pode ser obtido através das seguintes expressões:

Regra da Raiz Quadrada: $k = \sqrt{N}$ (1)

Regra de Sturges: $k = 1 + 3{,}322 * \log(N)$ (2)

onde k é o número de classes e N o número de observações.

Existem vários tipos de histograma, a seguir são apresentados os mais típicos e os mesmos podem ser utilizados como modelos para a análise de um processo.

- **Histograma simétrico ou normal**

A frequência é mais alta no centro e decresce de forma gradual em direção aos extremos do gráfico, como se pode verificar na Figura 16. A média e a mediana apresentam valores aproximadamente iguais e localizam-se no centro do histograma. Este tipo de histograma ocorre usualmente em processos padronizados, estáveis e a característica de qualidade é contínua, não apresentando nenhuma restrição teórica nos valores que podem ocorrer.

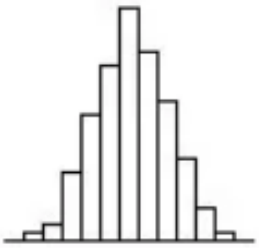

Figura 16 - Exemplo de histograma simétrico [7]

- **Histograma assimétrico**

No histograma assimétrico, a frequência decresce abruptamente num dos lados e de forma gradual na extremidade oposta. A distribuição assimétrica pode ser positiva, Figura 17, ou negativa Figura 18. Quando a assimetria se apresenta à esquerda a mediana é superior à média, e quando a assimetria se encontra à direita a mediana é inferior à média. Neste tipo de histograma, a característica de qualidade possui apenas um limite de especificação e é controlada durante o processo, de forma a garantir essa especificação.

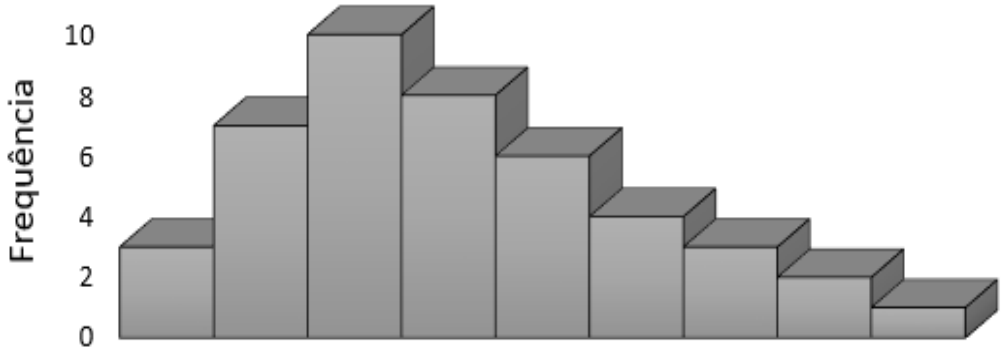

Figura 17 - Exemplo de distribuição assimétrica positiva [7]

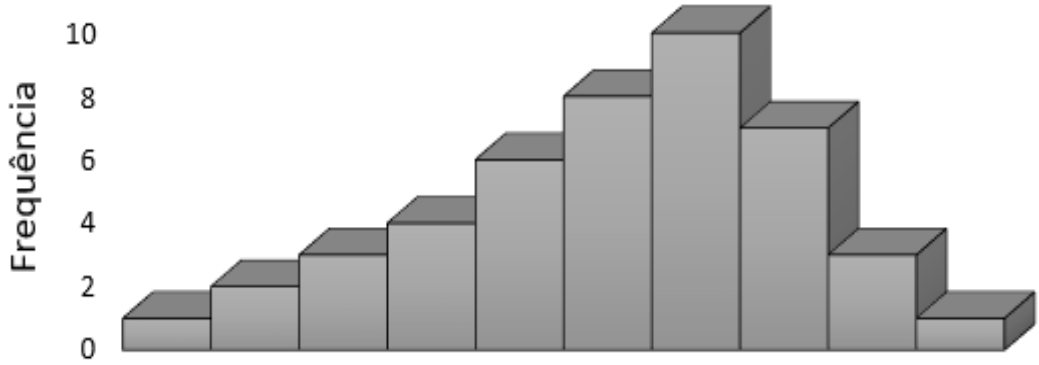

Figura 18 - Exemplo de distribuição assimétrica negativa [7]

- **Histograma com dois picos (bimodal)**

Neste tipo de histograma, ocorrem dois picos distintos em cada extremidade do gráfico e a frequência entre os mesmos é baixa, visível na Figura 19. Isto advém de situações em que há mistura de dados com médias diferentes, obtidas em duas condições distintas.

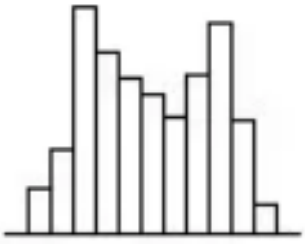

Figura 19 - Exemplo de histograma com dois picos [7]

- **Histograma "*Plateau*"**

Neste tipo, as frequências apresentam-se bem próximas umas das outras, em níveis bastante equivalentes, como se pode verificar na Figura 20. Este histograma ocorre quando há misturas de distribuições com médias diferentes, e anormalidade nos dados decorrentes de falhas, este histograma é uma versão extrema do histograma bimodal

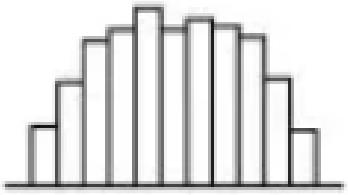

Figura 20 -Exemplo de histograma platô [7]

Como fazer isso (passo-a-passo): O histograma deve ser construído percorrendo as seguintes etapas:

1. Recolha os dados das frequências absolutas;
2. Registar e organizar os mesmos numa tabela;
3. Determine o número de categorias e o intervalo entre as categorias;
4. Organizar os dados nas respetivas categorias, de acordo com o intervalo estabelecido;
5. Calcular as frequências relativas;
6. Construir o histograma, colocar as categorias no eixo horizontal e a frequência de ocorrência no eixo vertical;

2.4.9. Cartas de Controlo

As primeiras cartas de controlo surgiram nos anos vinte do século XX e foram desenvolvidas por Walter Shewhart, enquanto procedia ao estudo da variação de um determinado processo.

As mesmas, são uma importante ferramenta da qualidade, que permite distinguir entre a variação inerente ao processo e a variação resultante de causas especiais, formando desta forma, uma representação gráfica da estabilidade ou instabilidade de um processo ao longo do tempo [23].

Para que serve: As cartas de controlo aplicam-se para verificar a estabilidade do processo.

Quando deve ser utilizada: As cartas devem ser utilizadas quando: [24]

- É pretendido melhorar a produtividade, estas quando bem aplicadas, permitem reduzir desperdícios e evitar o retrabalho (fazer de novo), permitindo a redução de custos e uma maior capacidade de produção;
- É requerido mostrar evidências, se um processo está a ser conduzido num estado de controlo estatístico e permitir identificar a presença de causas especiais de variação, por forma a que as respetivas ações corretivas possam ter lugar;
- Se pretende concentrar as ações no sentido da melhoria continua da capacidade desse processo;
- É ambicionado manter o estado de controlo estatístico, utilizando os limites de controlo como uma forma de decisão em tempo real do andamento do processo.

As cartas de controlo só são práticas quando é possível realizar medições regulares de um processo. Normalmente, isso ocorre em processos repetitivos e num espaço de tempo razoavelmente curto [7].

Como entendê-la: Uma carta de controlo consiste num gráfico que mostra a evolução ao longo do tempo (t) de uma estatística (ω), referente a uma determinada característica da qualidade. Nas cartas de controlo representam-se, para além dos pontos relativos ao par (t, ω), os Limites Superior Controlo (LSC), Limites Inferiores de Controlo (LIC), bem como as Linhas Centrais (LC). A Figura 21 apresenta um esquema ilustrativo de uma carta de controlo, considerando uma estatística ω.

Tal como referido acima, as mesmas são aplicadas para verificar a estabilidade de um processo, se a característica em análise apresentar uma distribuição de probabilidade que se mantém constante ao longo do tempo, o processo está sob controlo estatístico. Caso contrário, se esta distribuição variar ao longo do tempo, o processo encontra-se fora de controlo [24].

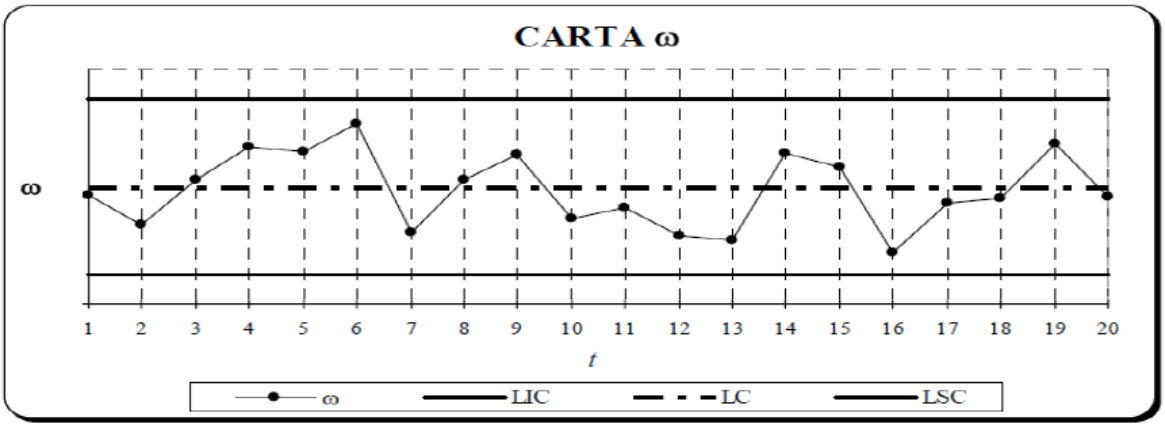

Figura 21 - Exemplo Carta de Controlo [24]

Segundo Montgomery, a linha central e os limites superior e inferior de controlo, calculam-se mediante as seguintes expressões: [25]

$$Limite\ Superior\ Controlo = \mu_\omega + L\sigma_\omega \quad (3)$$

$$Linha\ Central = \mu_\omega \quad (4)$$

$$Limite\ Inferior\ Control = \mu_\omega - L\sigma_\omega \quad (5)$$

onde, μ_ω representa a média da estatística ω e σ_ω o desvio padrão de ω. L é considerado como a distância dos limites de controlo à linha central em unidades de desvio padrão, normalmente considera-se $L = 3$, dado que a probabilidade α, risco do produtor ou nível de significância, é igual a $0{,}27\ \%$. Considerando que os valores da estatística ω seguem uma distribuição normal $N\ (\mu_\omega, \sigma_\omega^2)$, a probabilidade de existir um ponto fora dos limites de controlo, quando o processo se encontra sob controlo estatístico, é de $0{,}27\ \%$, ou seja, a probabilidade de um ponto se situar dentro dos limites de controlo é de $99{,}73\ \%$ [24].

O desempenho de uma carta de controlo é usualmente avaliado com base no quão frequentemente a carta de controlo indica um processo fora de controlo (taxa de falsos alarmes), e no quão demorada é a detetar alterações específicas no processo (atraso excessivo na deteção).

Desta forma, especificar os limites de controlo é uma das decisões críticas que têm de ser tomadas ao construir uma carta de controlo. Existem 2 tipos de erros que podem ocorrer ao especificar os limites, sendo:

- Erro Tipo I, existir um ponto no gráfico para além dos limites de controlo indicando uma situação fora de controlo quando na verdade não existe nenhuma causa especial de variação, este erro acontece quando os limites de controlo estão muito próximos da linha central, ao distanciar-se os mesmos reduz-se este risco;
- Erro Tipo II, existir um ponto dentro dos limites de controlo quando na verdade o processo encontra-se fora de controlo estatístico, este tipo de erro sucede quando se aumenta a distância dos limites de controlo em relação à linha central;

Resumidamente, ao estreitar-se a distância entre os limites de controlo e a linha central obtém-se um efeito oposto: a probabilidade de ocorrer um erro do tipo I aumenta, ao passo que a probabilidade de se obter um erro do tipo II diminui [2].

Um dos objetivos das cartas de controlo é verificar a existências de padrões não aleatórios. Assim como um ponto fora dos limites de controlo, um padrão não aleatório também indica a existência de causas especiais de variação. Assim, de forma a identificar um padrão não aleatório e segundo as regras da

Norma ISO 8258, um processo encontra-se fora de controlo estatístico quando se verifica uma das oito regras descritas abaixo e ilustradas na Figura 22:

Regra 1: Qualquer ponto fora dos limites de controlo;

Regra 2: Nove pontos consecutivos na zona C ou para além da zona C do mesmo lado da linha;

Regra 3: Seis pontos consecutivos no sentido ascendente e descendente;

Regra 4: Catorze pontos consecutivos crescendo e decrescendo alternadamente;

Regra 5: Dois de três pontos consecutivos na zona A, do mesmo lado da linha central;

Regra 6: Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, do mesmo lado da linha central;

Regra 7: Quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central;

Regra 8: Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C.

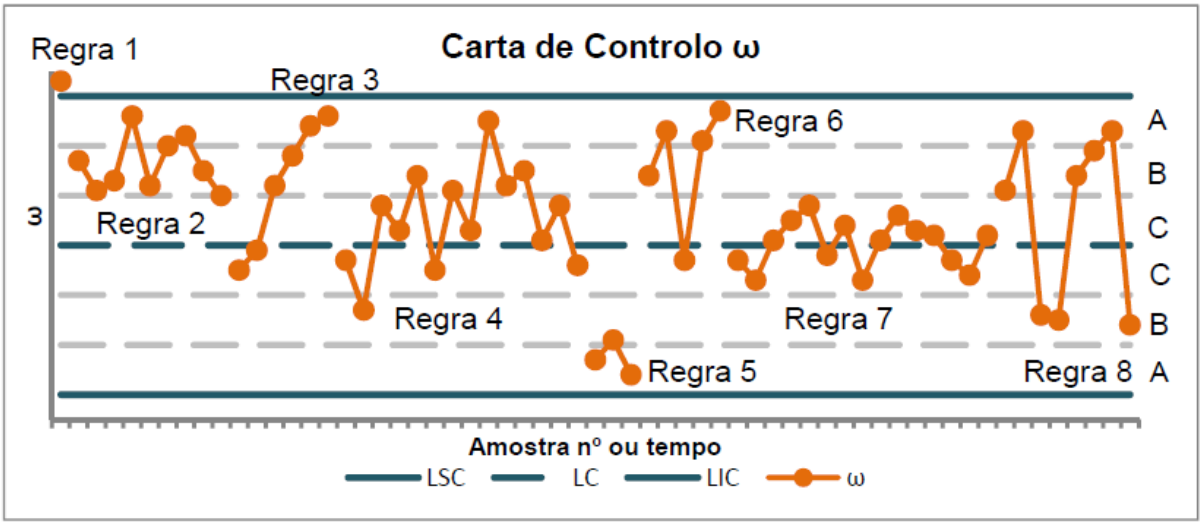

Figura 22 – Regras para deteção de um processo fora de controlo estatístico [24]

As cartas de controlo estão agrupadas em dois tipos, cartas de controlo de variáveis e as cartas de controlo de atributos.

As cartas de controlo de variáveis, são empregadas quando as características podem ser medidas e expressas numa escala contínua. Para estas características da qualidade, devem ser construídas duas cartas, uma para controlar o parâmetro localização e outra para controlar o parâmetro dispersão da população.

As cartas de controlo de atributos, aplicam-se quando existe características que não são mensuráveis numa escala contínua e assumem valores discretos, tais como, unidades de produto não conforme ou o número de defeitos, onde é apenas construída uma carta.

Nas cartas de variáveis e das cartas de atributos, existe um conjunto de cartas a serem aplicadas conforme a natureza das características e a tipologia dos dados obtidos. As cartas usadas no controlo estatístico tradicional, para variáveis ou atributos, são apresentadas na Tabela 5 [24].

Tabela 5 - Cartas de Controlo de Shewhart [24]

Cartas de Controlo	
Variáveis	Média e Amplitude Carta $\bar{X}$ e Carta R
	Média e Desvio Padrão Carta $\bar{X}$ e Carta S
	Média e Variância Carta $\bar{X}$ e Carta S^2
	Mediana e Amplitude Carta $\tilde{X}$ e Carta R
	Observações Individuais e Amplitudes Móveis Carta X e Carta MR
Atributos	Proporção de unidades não conformes Carta *p*
	Número de unidades não conformes Carta *np*
	Número de defeitos por unidade Carta *u*

Como fazer isso (passo-a-passo): O processo de realização e implementação de uma carta de controlo é habitualmente dividido em duas fases: Fase 1 e Fase 2. Na fase 1 ainda não se conhecem os parâmetros do processo, e na fase 2 já foram estimados anteriormente os parâmetros do processo.

Na Fase 1 são recolhidos os dados de modo a construir as cartas de controlo, estimar os parâmetros do processo e verificar a sua capacidade. Nesta fase, quando é detetado alguma causa especial de variação, a amostra deve ser eliminada e a carta atualizada, sendo que caso se verifiquem várias causas especiais as mesmas devem ser investigadas e corrigidas, e de seguida é necessário recolher novos dados.

Na fase 2 é realizado a monitorização do processo. No decorrer desta fase, sempre que se verifique uma causa especial de variação, esta deve ser investigada e devem ser estabelecidas ações corretivas [2].

As etapas que podem ser seguidas para a construção das cartas de controlo na fase 1 são as seguintes:

1. Selecionar a característica da qualidade a monitorizar;

2. Elaborar um plano de controlo no qual constam a dimensão da amostra, a frequência da amostragem, o equipamento de medição e o método de medição;
3. Selecionar o tipo de carta mais adequado;
4. Recolher m amostras de dimensão n durante um determinado período de tempo, perfazendo um total de *N* unidades ($N = m * n$) de forma que $N \geq 100$;
5. Calcular a estatística para cada uma das amostras.
6. Determinar a linha central e os limites de controlo;
7. Verificar a existência de causas especiais de variação;
8. Caso se detetem causas especiais de variação, deve-se proceder à sua erradicação;
9. Determinar os novos valores para a linha central e os limites.
10. Construir a carta de controlo revista.
11. Verificar se o processo se encontra sob controlo estatístico, ou seja, se apresenta unicamente causas comuns de variação.

Os principais objetivos da fase 1 são a verificação da estabilidade do processo e a estimação da sua média e da sua variância, que permitem posteriormente determinar a capacidade do processo, ou seja, é possível determinar a aptidão do mesmo e produzir consistentemente dentro dos limites de especificação [2].

Em relação à fase 2 as etapas necessárias a construção das cartas, considerando que já foram definidos as características, o plano de controlo e o tipo de carta, são os seguintes:

1. Representar no gráfico os limites de controlo e a linha central definidos na Fase 1;
2. Recolher a amostra i, determinar a estatística ω_i e representar o seu valor no gráfico;
3. Verificar se o valor representado corresponde a uma causa especial de variação;
4. Caso seja detetada uma causa especial de variação, identificar qual o seu motivo e implementar ações corretivas;
5. Recolher a amostra i + 1, calcular ω_{i+1} e representar no gráfico o respetivo valor;
6. Repetir os pontos 3, 4 e 5.

2.4.10. 5W2H

Este método têm um nome derivado do acrónimo (em inglês) do conjunto de atributos do método, nomeadamente: [26]

- *What? (o que?)*: o que deve ser feito (objetivo)?;
- *Why?* (porque?): porque será feito e como são avaliados os resultados (justificação)?;

- *Where?* (onde?): onde será feito (local)?;
- *Who?* (quem?): por quem será feito (responsabilidade)?;
- *When?* (quando?): quando será concluído (prazo)?;
- *How?* (como?): Como será feito (método)?;
- *How much?* (quanto?): com que recursos (custo)?;

Para que serve: Auxiliar o planeamento das ações de melhoria.

Quando deve ser utilizada: Na fase de implementação das ações que resultaram da utilização das ferramentas de análise e investigação de problemas, acidentes, riscos e oportunidades, podendo potenciar a eficácia de outras ferramentas da qualidade.

Como entendê-la: Na fase posterior a identificação das causas, realizados os estudos de soluções e alternativas possíveis e tomada de decisão acerca das soluções mais relevantes, é necessário implementá-las. O 5W2H consiste na elaboração de uma lista de verificação das atividades das atividades que precisam de ser desenvolvidas, como, quem, quando, porquê e o custo associado. Têm como base o mapeamento das atividades, estabelecendo o que será feito, quem fará determinada tarefa, em que prazo de tempo, em que processo da organização e todas as razões pelas quais a atividade deve ser realizada, de uma forma muito sucinta e clara.

Como fazer isso (passo-a-passo): Para aplicar esta ferramenta é necessário ter em mente as causas do problema, o objetivo definido e realizar cada etapa de maneira cuidadosa sempre de forma correta.
A equipa deve estabelecer os objetivos de melhoria que se pretendem alcançar. Delinear objetivos é um passo importante para avaliar a melhoria do processo e certificar se os problemas foram solucionados e se o processo está robusto e eficaz como previsto.

Para se aplicar este método, de uma forma visual e que possa ser facilmente interpretada por todos, agilizando assim o *brainstorming*, a mesma pode ser realizada na forma de tabela como apresentada na Tabela 6 [26].

Aquando a utilização deste método, é necessário garantir que as ações que se estão a executar ou irão ser executadas, atuam sobre as causas do problema, e não sobre os seus efeitos; não têm qualquer efeito oposto, caso contrário deve ser deverão ser aplicadas ações imediatas de forma a colmatar e controlar estes efeitos; resolvem os problemas analisados (deve ser monitorizado a eficácia das soluções e ações implementadas) [5].

Tabela 6 - Exemplo de um formato 5W2H [Autor]

Objetivo				Colocar o objetivo definido
	Etapa	**Passo**	**Pergunta a ser respondida**	**O que preencher?**
5W	1	*What?*	O que deve ser feito?	Objetivo a alcançar, o que deve ser feito para conseguir atingir o mesmo.
	2	*Why?*	Porque será feito e como são avaliados os resultados?	Quais os motivos que justificam o que será feito.
	3	*Where?*	Onde será feito? Em que local?	Detalhar a localização onde será executada ação (departamento, linha produtiva, laboratório).
	4	*Who?*	Por quem será feito?	Definido o objetivo, é necessário identificar os colaboradores que vão ajudar a alcançar o mesmo. Se para atingir o mesmo é preciso a elaboração de diversos processos e ações, quem ficará responsável por cada ação?
	5	*When?*	Quando será concluído?	Um bom planeamento possui prazos para que o objetivo principal seja alcançado. Assim, neste passo a resposta deve ser uma data para a execução de cada ação.
2H	1	*How?*	Como será feito?	Detalhar qual o processo que será feito para atingir o objetivo principal.
	2	*How much?*	Com que recursos?	Analisar o custo inerente ao plano de ações definido anteriormente, deve ser incluído todas as despesas com os colaboradores, seguir devidamente as etapas anteriores de maneira correta, de forma a obter-se o cálculo mais preciso de quanto custará e verificar se o mesmo se adequa aos recursos disponíveis.

2.4.11. FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*)

A metodologia FMEA – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (do original inglês *Failure Mode and Effect Analysis*) surge assim designada na norma DIN 25 448 desde 1980 [27].

É um método de análise de projetos, produtos, processos industriais ou administrativos para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema [28].

O autor D. H. Stamatis, referência a mesma como sendo uma técnica de engenharia extremamente importante no contexto industrial atual, na medida em que procura definir, identificar e eliminar eventuais falhas, problemas ou erros tanto do produto como do processo antes que chegue ao cliente. Resumindo, é uma ferramenta analítica que procura antever os problemas que podem surgir desde a conceção e desenvolvimento dos produtos e realiza diagnósticos de medidas para evitar que os mesmos se concretizem [29].

O método FMEA foi desenvolvido pelo o exército dos Estados Unidos da América, o mesmo foi formalizado no procedimento escrito MIL-P-1629, com data de 1949 e nos quais os princípios ainda influenciam as normas militares atuais [27].

Para que serve: O método *FMEA* é útil para identificar e priorizar as falhas atuais e potenciais e seus efeitos em sistemas e processos para definir ações que visem reduzir ou eliminar o risco associado a cada falha [30].

Quando deve ser utilizada: Segundo Abel Pinto, esta ferramenta é utilizada para: [5]

- Identificar as falhas potenciais nos processos;
- Avaliar o risco destas falhas;
- Criar prioridades nas ações a serem tomadas para minimizar ou eliminar esse risco;
- Analisar novos processos;
- Criar prioridades na alocação dos recursos para a elaboração de um plano de controlo;
- Avaliar a eficácia de planos de controlo existentes;
- Identificar características especiais.

Como entendê-la: A *FMEA* é considerada essencial para cumprir com certas exigências quer do cliente, quer até mesmo governamentais, pois consegue identificar potenciais deficiências e características críticas e significativas e poderá ser aplicada em diferentes etapas da conceção de um produto ou serviço, constrangendo a que a *FMEA* seja clara, correta e completa.
Segundo Stamatis, existem quatro tipos principais de FMEA: [29]

- *FMEA* do sistema (*System FMEA – SFMEA)*;
- *FMEA* do design (*Design FMEA - DFEMEA*);
- *FMEA* de produto (*Product FMEA – PFMEA)*;
- *FMEA* de processo (*Process FMEA)*.

O *FMEA* do sistema é aplicado para avaliar as falhas em sistemas nas fases iniciais de conceção e projeto. As falhas são evidenciadas em relação às suas funcionalidades e no atendimento das expectativas dos clientes, ou seja, está diretamente ligado à perceção do cliente em relação ao sistema.

O *FMEA* do design é utilizado para analisar os produtos (novos ou que sofram alterações) antes destes serem homologados para a produção e têm como principal foco os modos de falha causados por deficiências no projeto.

O *FMEA* de produto é utilizado para avaliar possíveis falhas no projeto do produto antes do mesmo ter autorização para se dar início ao seu fabrico. Salienta as falhas do projeto relacionadas com o cumprimento dos objetivos definidos para cada uma das suas características e está diretamente ligado à capacidade do projeto em atender aos objetivos inicias definidos. Este define ainda a necessidade de alterações do produto na fase de projeto, estabelece as prioridades para as ações de melhoria necessárias, auxilia na definição de testes e na validação do produto, na identificação de características críticas e na avaliação dos requisitos e alternativas do projeto.

Por último o *FMEA* de processo é também utilizado para avaliar as falhas em processos antes de se obter a autorização para a produção. Enfoca as falhas do processo no que diz respeito ao cumprimento dos objetivos pré-definidos e está diretamente ligado à capacidade do processo em cumprir os mesmos. O *FMEA* de processo define necessidades de alterações no processo, estabelece prioridades para as ações de melhoria, auxilia na execução do plano de controlo do processo e na análise dos processos de manufatura e montagem.

A avaliação do risco é uma das etapas mais importantes no *FMEA*, a mesma é realizada pela análise de três pontos: (S) severidade, ponto no qual se avalia o nível de impacto de uma falha; (O) ocorrência, em se que analisa com que frequência a causa da falha pode ocorrer e (D) deteção, no qual se avalia o quão bem os controlos de produto ou processo detetam a falha ou o modo da falha [28].

Para cada uma das etapas mencionadas é atribuído um valor, através desse valor e realizando o produto das classificações de severidade, ocorrência e deteção é obtido o Número de Prioridade de Risco (NPR), que serve de suporte para definir a prioridade das ações. De forma a que seja aplicado esta avaliação e atribuição, as organizações têm de conhecer e entender bem os requisitos dos seus clientes. Para aplicabilidade do critério de priorização, existem ainda mais duas alternativas, nomeadamente: [28]

- a combinação não aritmética das classificações da severidade, da ocorrência e da deteção (SOD). Assim, quando classificado em ordem numérica descendente, priorizará primeiramente por severidade, seguido de ocorrência e deteção;
- e o foco inicial, na severidade e na ocorrência, ou seja, o produto destes (SxO) pode indicar onde será o foco para reduzir a ocorrência e aplicar as devidas ações corretivas;

Para um melhor resultado a equipe deve estar de acordo quanto aos critérios de avaliação, do sistema de classificação da Severidade (S), Ocorrência (O) e Deteção (D).

A Severidade (S) é uma avaliação da gravidade do efeito do modo de falha potencial para o próximo componente, subsistema, sistema ou cliente. A severidade aplica-se somente ao efeito. A severidade pode ser classificada como sugerido na Tabela 7 [31].

A Ocorrência (O) é a probabilidade de um mecanismo/causa específico vir a ocorrer. Esta probabilidade tem um significado mais importante que apenas o seu valor. A única forma de reduzir, efetivamente, a ocorrência é a remoção ou o controlo de um ou mais mecanismos de falha (fadiga, desgaste, corrosão) através de uma modificação no projeto. As taxas de falhas possíveis referem-se a vida projetada do produto, as mesmas são estimadas na fase do projeto do componente, subsistema ou sistema. A ocorrência está relacionada à probabilidade de ocorrência e não a ocorrência real, esta pode ser classificada como sugerido na Tabela 8 [31].

A Deteção (D) é uma avaliação da probabilidade de se detetar o modo de falha. Para classificar a deteção, supõe-se que a falha ocorreu e avalia-se a capacidade do controlo proposto para a detetar a falha. A classificação da mesma pode ser efetuada como sugerido na Tabela 9 [31].

Tabela 7 - Classificação da falha de acordo com a Severidade (S) [31]

Severidade	Efeito	Critérios	Classificação
Perigoso sem aviso prévio	Falha em atender a Requisitos e/ou Normas regulatórias e de Segurança	Falha afeta a segurança na operação do produto ou envolve não conformidade com regulamentação governamental sem aviso prévio ou pode trazer perigo para o operador na máquina ou na montagem sem aviso antecipado.	10
Perigoso com aviso prévio	Falha em atender a Requisitos e/ou Normas regulatórias e de Segurança	Falha afeta a segurança na operação do produto ou envolve não conformidade com regulamentação governamental avisada com antecedência ou pode trazer perigo para o operador na máquina ou na montagem mesmo avisado previamente.	9
Muito Alto	Perda ou Interrupção Total do Produto ou Processo	Funções primárias inoperáveis, mas não afeta a segurança ou a rejeição de 100% do lote de produção	8
Alto	Grande perda ou Interrupção significante	Funções primárias com desempenho reduzido ou parte do lote de produção rejeitado, redução na produção e acréscimo de mão de obra	7
Moderado	Perda ou Interrupção Moderada	Funções de conforto ou conveniência estão inoperáveis ou necessário retrabalhar 100% do lote de produção fora da linha	6
Baixo	Perda ou Interrupção Moderada	Funções de conforto ou conveniência com desempenho reduzido ou necessário retrabalhar uma parte do lote de produção fora da linha	5
Muito Baixo	Perda ou Interrupção Menor	Aparência ou Ruído não conforme e percebido por mais de 75% dos clientes ou retrabalho de 100% do lote de produção antes de ser processado	4
Menor	Perda ou Interrupção Menor	Aparência ou Ruído não conforme e percebido por mais de 55% dos clientes ou retrabalho de uma parte do lote de produção antes de ser processado	3
Muito Menor	Incómodo ou Desconforto	Aparência ou Ruído não conforme e percebido por menos de 25% dos clientes ou pequena inconveniência para o processo ou para o operador	2
Nenhum	Nenhum efeito	Nenhum efeito percetível	1

Tabela 8 - Classificação da falha de acordo com a Ocorrência (O) [31]

Probabilidade de Falha	Taxas de Falha Possíveis	Classificação
Muito Alta: Falha quase inevitável	≥ 1 em 2	10
	1 em 3	9
Alta: Falhas frequentes	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Falhas Ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
Baixa: Poucas falhas	1 em 2 000	4
	1 em 15 000	3
Remota: Falha é improvável	1 em 150 000	2
	≤ 1 em 1 500 000	1

Tabela 9 - Classificação da falha de acordo com a Deteção (D) [31]

Deteção	Critérios	Classificação
Quase impossível	Não conhecido (s) control (s) disponível (is) para detetar o modo de falha.	10
Muito Remota	Probabilidade muito remota de que o (s) controlo (s) atual (is) irá detetar o modo de falha.	9
Remota	Probabilidade remota de que o (s) controlo (s) atual (is) irá detetar o modo de falha.	8
Muito Baixa	Probabilidade muito baixa de que o (s) controlo (s) atual (is) irá detetar o modo de falha.	7
Baixa	Probabilidade baixa de que o (s) controlo (s) atual (is) irá detetar o modo de falha.	6
Moderada	Probabilidade moderada de que o (s) controlo (s) atual (is) irá detetar o modo de falha.	5
Moderadamente Alta	Probabilidade moderadamente alta de que o (s) controlo (s) atual (is) irá detetar o modo de falha.	4
Alta	Probabilidade alta de que o (s) controlo (s) atual (is) irá detetar o modo de falha.	3
Muito Alta	Probabilidade muito alta de que o (s) controlo (s) atual (is) irá detetar o modo de falha.	2
Quase certamente	Controlo (s) atual (is) quase certamente irá detetar o modo de falha.	1

Sabendo todas as classificações da severidade, ocorrência e deteção, realizando os cálculos e após obter o Número de Prioridade de Risco (NPR) a equipa deve concentrar esforços para NPR's altos e muito altos, como se pode verificar na Tabela 10, o mesmo varia entre "1" e "1000".

Tabela 10 - Índice do Número de Prioridade de Risco (NPR) [31]

Índice de Risco do NPR	
Baixo	1 a 50
Médio	50 a 100
Alto	100 a 200
Muito Alto	200 a 1000

De um modo geral, deve-se tomar uma atenção especial quando a severidade é alta, independente do Número de Prioridade do Risco resultante.

Como fazer isso (passo-a-passo): Para se aplicar esta metodologia, deve ser formado um grupo de trabalho multidisciplinar, com o objetivo de definir a função e/ou características do produto ou processo, bem como investigar todos os tipos de falhas que possam ocorrer. O grupo deve ter todas as valências necessárias à boa resolução do problema. De acordo com Abel Pinto, o mesmo deverá ser composto por três a cinco colaboradores; um grupo menor do que três poderá limitar a eficácia da análise sendo que um grupo superior a cinco elementos é mais difícil de gerir, o que pode, também, limitar a eficácia. É identificado cada tipo de falha e as suas possíveis causas e efeitos e determina-se as medidas de deteção e contenção de eventuais falhas. Para cada causa de falha, atribuem-se índices para avaliar os riscos e discutem-se as medidas de melhoria.

Para se proceder a implementação da *FMEA* são seguidas cinco etapas, iniciando-se pelo planeamento onde é realizado a descrição dos objetivos e a abrangência da análise (onde se identifica quais os produtos/processos que serão analisados), formação dos colaboradores alocados ao projeto, o planeamento e a criação de um cronograma de reuniões de trabalho/seguimento e preparação da documentação de suporte necessária. Segue-se a segunda etapa, análise de potenciais falhas, que determina as funções e caraterísticas do produto/processos, os tipos de falhas e potenciais falhas para cada função, efeitos que cada tipo de falha poderá ter, causas possíveis de falhas para as mesmas e controlos de qualidade já existentes e a implementar por falha. A terceira etapa, avaliação dos riscos, permite avaliar os riscos tendo por base, a severidade (S), a ocorrência (O) e a deteção (D) e o NPR. Na quarta etapa, melhoria, são estabelecidas as ações de melhoria que podem ser de vários tipos, como por exemplo, a prevenção total dos tipos de falhas e de uma causa de falha, dificultar a ocorrência de falhas, minimizar o efeito do tipo de falha, aumentar a probabilidade de deteção do tipo ou da causa

de falha, sendo que qualquer medida deve estar descrita num plano de ações, com a descrição da metodologia de controlo e respetivos objetivos . Por último, a continuidade, em que periodicamente, os resultados obtidos e eventuais desvios detetados devem ser analisados para detetar e realizar oportunidades de melhoria, o formulário *FMEA* é um documento de trabalho constante, devendo estar em constante atualização, de acordo com o ciclo *PDCA.*

2.4.12. Quality Gates

A ferramenta *Quality Gates*, começou inicialmente por ser uma ferramenta usada para a tomada de decisão em relação à alocação de recursos, foi criado com base em uma ampla revisão das boas práticas de desenvolvimento de produtos (projetos), a mesma denominada por *Stage Gates* [32].

O processo *Stage Gate* foi desenvolvido por Robert G. Cooper em 1986, sob a perspetiva de pontos de verificação da qualidade do processo de desenvolvimento. Em cada *gate* é especificado um conjunto de requisitos desejados, os quais garantem a eficiência dos estágios desenvolvidos. Os estágios são onde as atividades de desenvolvimento são realizadas numa sequência predeterminada. A decisão de cada gate consiste na validação do estágio anterior e se aprova o plano de ação para o próximo estágio.

O desenvolvimento surgiu da primeira revisão de fases de projeto de desenvolvimento de produtos desenvolvido nos anos 60 pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), denominado *Phased Project Planning* (PPP), ou mais tarde denominada *Phased Review Process.* Neste processo, a passagem para a fase posterior é condicional aos cumprimentos dos pré-requisitos da fase que está a ser avaliada. Geralmente, a tarefa deveria estar totalmente completa para que fosse aprovado para a fase seguinte. O método utilizado desta forma caracterizava-se como um procedimento de controlo do projeto a fim de cumprir as tarefas preestabelecidas no tempo planeado para aquele estágio.

O sistema *Stage Gate* de tomada de decisão, mostrado na Figura 23, é uma metodologia de projeto separada por etapas claramente definidas e ao final de cada estágio do projeto é necessário submeter o projeto a uma tomada de decisão.

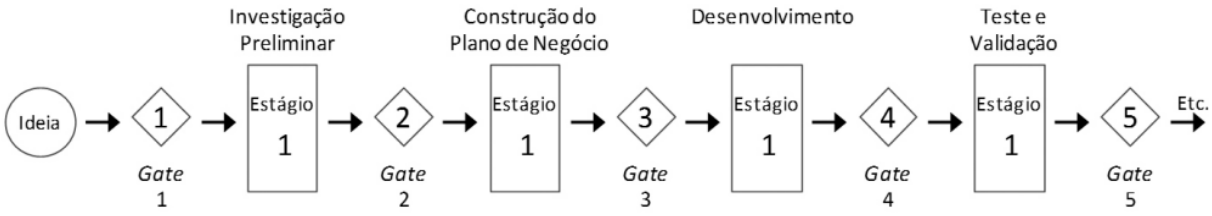

Figura 23 - *Stage-gate* de segunda geração, segundo Robert Cooper [32]

Estes estágios podem ser descritos como:

- Estágio 1, Investigação preliminar: Neste estágio é realizado uma investigação preliminar do objetivo do projeto incluindo um trabalho não-exaustivo.
- Estágio 2, Investigação detalhada: Este estágio abrange uma investigação mais detalhada, tanto a nível técnico como a nível comercial do objetivo do projeto para construir o *business case* do projeto (inclui a definição do produto e do projeto, a justificação do projeto e o plano do projeto).
- Estágio 3, Desenvolvimento: é concretizado o desenvolvimento do produto, incluindo os seus processos de produção e de operação.
- Estágio 4, Validação e Testes: são feitos os testes técnicos e comerciais nesta etapa, procurando a aprovação tanto técnica como comercial do novo produto.
- Estágio 5, Lançamento comercial: Este é o estágio que marca o início da operação comercial, incluindo as atividades de publicidade, distribuição e comercialização.

Ao nível do processo produtivo, a inspeção é uma importante ferramenta de qualidade, mas a confiança numa "abordagem de qualidade por inspeção final", abrange muitos riscos. As suas principais deficiências são que a inspeção normalmente ocorre tarde demais e raramente inclui uma inspeção do próprio processo de trabalho. Como resultado, exige um retrabalho substancial, que resulta em atrasos no cronograma de produção, em custos excedentes e atraso nos produtos ao seu cliente final [33].

Os conceitos de W.E. Deming e J. Juran apresentam essa preocupação quando apontam que a qualidade pela inspeção em massa não é econômica porque permite que práticas desnecessárias permaneçam num processo de trabalho e a produção excessiva de sucata e de retrabalho. Em todos os casos, os autores defendem que é mais econômico fazer as coisas bem à primeira. [34]

Segundo Juran, as atividades de inspeção e de testes envolvem sempre a avaliação de uma característica no que se refere a um requisito específico. O requisito pode ser na forma de um padrão, um desenho, uma instrução escrita, uma ajuda visual ou qualquer outro meio de transmitir a característica especifica [3].

As funções de inspeção e de testes podem ser feitas automaticamente, manualmente ou ambas de maneira sequencial. O processo de avaliação consiste nas seguintes etapas aplicadas a cada característica:

1. Interpretação da especificação do produto ou serviço;

2. Medição da característica de qualidade;

3. Comparar a primeira e a segunda;

4. Decisão da conformidade;

5. Dar seguimento dos produtos que estão em conformidade;

6. Disposição de produtos não conformes;

7. Registo dos dados obtidos.

Essas etapas são aplicáveis tanto a produtos como a serviços.

Numa inspeção por atributos, a avaliação pode ser determinada usando os sentidos intrínsecos do ser humano (ou seja, olfato, paladar, visão, audição e tato), em que uma decisão é tomada com base simplesmente em uma determinação "aceitar" ou "rejeitar".

Numa inspeção por variável, a avaliação é determinada usando qualquer dispositivo de medição, seja ele mecânico, eletrônico, laser, químico ou qualquer outro método que exibirá dados gerados pela medição física da característica, na qual é tomada uma decisão com base na leitura real do valor.

O principal objetivo da inspeção e de testes é determinar se os produtos ou serviços estão em conformidade com as especificações. Este propósito é frequentemente chamado de inspeção de aceitação e/ou testes de aceitação.

As pessoas envolvidas em tempo integral no trabalho de inspeção são normalmente conhecidas como inspetores, mas geralmente são reconhecidas como avaliadores de produtos, auditores de produto e verificadores de produtos para organizações que produzem um produto.

Com base nas necessidades de deteção e redução de defeitos originados pela mão de obra, surge uma inovação nos métodos de controlo da qualidade. Conhecido como *Quality Gate*, ou “porta da qualidade”, esse método procura agir diretamente com os erros humanos no posto de trabalho onde são originados [35].

Ao estabelecer *Quality Gates*, as etapas de inspeção podem ser agregadas, minimizando o esforço para efetuar o controlo de qualidade no final do produto e acaba por resumir as informações sobre parâmetros de qualidade relevantes nas etapas intermédias [36].

De acordo com o autor Hajime Yamashina, este novo método, ocorre em três fases; identificação/análise, desenvolvimento e ação. As etapas do processo de implementação do *quality gate*, começam com o envolvimento de uma equipa de trabalho e principalmente informando os operadores sobre o novo conceito de inspeção que será realizado na linha. Numa segunda fase de

implementação, deverá ser criado o procedimento para monitorização e execução. É necessário também identificar quem serão os "*gatekeepers*" para cada gate, ou seja, os inspetores de qualidade responsáveis pela verificação do produto. A terceira e última fase, refere-se ao processo de realização das inspeções na linha, registo das não conformidades encontradas e acompanhamento dos indicadores do processo [35].

Os *Quality Gates* (QG) são implementados ao longo da linha, com o objetivo de realizar inspeções entre uma fase de montagem e outra, exemplo ilustrativo na Figura 24. Esta inspeção torna-se importante, pois o conceito da mesma é não passar nenhum defeito para o próximo posto de trabalho e com a utilização de ferramentas de qualidade em cada *gate* permite analisar, seguir e melhorar o processo e a qualidade naquele posto de trabalho ou fase do projeto, obtendo-se um produto final com mais qualidade.

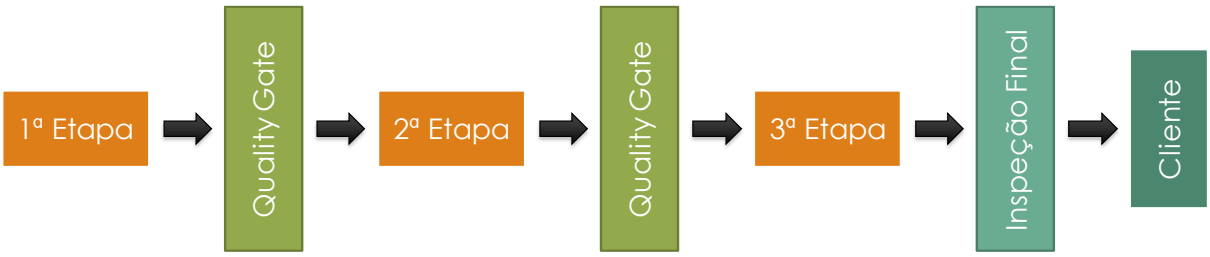

Figura 24 - Exemplo de um processo com Quality Gates entre as várias etapas [autor]

O conceito do gate é que todo o defeito encontrado deverá ser reparado pelo próprio operador que cometeu a falha ou no caso de se tratar de um projeto deve ser corrigido o erro antes de se avançar para a próxima fase, inclusive para as unidades prévias, até chegar ao posto onde é realizada a operação.

Estes podem ser usados para melhorar visibilidade da qualidade no processo produtivo, bem como ser usado para medir e monitorar a qualidade em tempo real, são projetados para facilitar a deteção, discussão e resolução de questões e problemas ainda no posto de trabalho onde ocorreu o mesmo através de um esforço colaborativo para melhorar a qualidade de produtos.

3. Metodologia de Implementação dos Quality Gates

No presente capítulo é apresentado a metodologia seguida para responder às perguntas orientadoras deste trabalho*, "O Porquê dos Quality Gates serem implementados numa fase especifica do processo de fabrico?" e "Que ferramentas de qualidade devem ser utilizadas em cada Quality Gate?"*, que está relacionada à inovação no processo de fabricação do ponto de vista do controlo de qualidade.

De forma a implementar-se a metodologia, é necessário seguir as etapas apresentadas de seguida, o mesmo apresenta quatro fases principais:

1º - Análise;

2º - Definição e Desenvolvimento;

3º - Implementação;

4º - Seguimento.

A mesma pode ter duas vertentes, uma em que se análise um novo processo e neste caso temos de aplicar o *FMEA* e a segunda quando é um processo que já existe e está em produção.

As etapas são:

- Criar/definir equipa;
- Mapeamento do Processo Produtivo;
- Análise das tarefas/montagens críticas:
    - Quando é um novo processo deve ser utilizado o *FMEA* para realizar esta análise;
    - Quando o processo não é novo, deverá ser realizada uma análise das não-conformidades através de amostras, caso não haja dados para realizar esta análise deverá ser definido uma amostra, recolher dados do processo, efetuar a análise total de defeitos, avaliar a distribuição dos defeitos no processo;
- Definição dos *Quality Gates* (em que "sítio" do processo deve ser colocado um QG) no processo;
- Para cada *Quality Gate* é necessário definir:
    - A(s) ferramenta(s) a utilizar para o registo das não-conformidades encontradas;
        - Desenvolver documentos de registo de acordo com as ferramentas selecionadas;
    - A(s) ferramenta(s) de monitorização (indicadores do resultado do *Quality Gate*);
        - Desenvolver KPI's de acordo com as ferramentas selecionadas;
    - A(s) ferramenta (s) de análise da causa das não-conformidades;

- Implementar os *Quality Gates* no processo produtivo;
- Realizar o seguimento após implementação e avaliar a eficácia;
- Realizar a reatividade das Não-Conformidades (NC), que eventualmente podem passar para a etapa seguinte do projeto ou processo ou mesmo chegar ao cliente.

Para que a implementação da metodologia seja mais visual e fácil de seguir, foi desenvolvido um fluxograma, um *road map*, apresentado na Figura 25. Este fluxograma serve para guiar a equipa consoante o processo existente, etapa a etapa de forma genérica.

3.1. Primeira Fase: Análise

Seguindo o fluxograma, Figura 25, e após a criação da equipa de trabalho o passo a seguir é realizar o mapeamento do processo onde é pretendido implementar-se os *quality gates*. Esta etapa é importante, o processo deve ficar bem mapeado, identificando todas as fases do mesmo, desde os *inputs* até aos *outputs.* De seguida, identifica-se se é um processo novo ou um processo que já existe e encontra-se em produção.

3.1.1. Como implementar os Quality Gates num novo processo?

Para implementação das portas da qualidade num novo processo, deverá ser aplicado o FMEA do processo.

O FMEA de Processo é utilizado para analisar processos de fabricação e montagem. Concentra-se em modos de falhas causados nas etapas de planeamento e execução de forma a minimizar o efeito dessas falhas e melhorar o processo como um todo. Ela identifica as deficiências no processo e as características críticas e/ou significativas, auxilia na análise dos processos de fabrico e montagem. É através desta análise e sempre que sejam identificados falhas e as mesmas não se encontrem corrigidas desde a fase do projeto, deve ser colocado um *quality gate* a seguir a cada fase de montagem, de forma a assegurar que o produto está ser fabricado de acordo com os requisitos e sem a falha identificada.

Todas as deficiências e características significativas identificadas serão aquelas que deverão constar nos documentos de registo das não-conformidades dos inspetores de qualidade.

3.1.2. Como implementar os Quality Gates num processo já existente?

O primeiro passo a ser dado na implementação do QG num processo que já se encontra em produção, é verificar se existe registos das Não-Conformidades, assim sempre que:

- Não exista registos, é imprescindível realizar-se o levantamento dos mesmos, tendo em conta a cadência dos produtos que são concluídos, define-se uma amostra e que ferramentas vão ser utilizadas, após a seleção é necessário recolher as mesmas. Esta recolha de dados pode ser feita na inspeção final do produto, sendo a altura mais aconselhável de se realizar.
- Exista registos, das não-conformidades internas e externas (não-conformidades que chegam ao cliente final), procede-se às seguintes etapas:
    1. Realizar a análise quantitativa das não-conformidades que constam na base de dados da organização (incluir não-conformidades internas e não-conformidades externas);
    2. Analisar a distribuição das não-conformidades no processo (por postos de trabalho, fases do processo), e com o mapeamento do processo e sabendo onde são realizadas as fases de montagem dos componentes e a tipologia das não-conformidades é possível localizar onde ocorreu a mesma;

Para realizar esta análise, da segunda etapa, deve-se utilizar as ferramentas Cartas de Controlo, Diagramas de Pareto ou Histogramas.

3.2. Segunda Fase: Definição e Desenvolvimento

A partir desta etapa, inclusive a mesma, quer seja um processo novo ou um processo que já existe, a metodologia é aplicada da mesma forma.

Concluída a primeira fase da metodologia, análise, avança-se para a segunda, de definição e desenvolvimento. Nesta, tal como o nome indica, é definido os *Quality Gates* a serem implementados nas fases especificas do processo, as não-conformidades a serem controladas em cada Gate, as ferramentas a utilizar para o registo das ocorrências, de monitorização, e de análise de causa raiz.
Desta forma, é possível definir-se a localização dos *Quality Gates*, os mesmos devem ser implementados entre tarefas (de uma estação de montagem para outra estação de montagem), quando:

- se verifique um maior número de não-conformidades, de uma estação para a outra;
- existem montagens críticas;
- fases críticas no avanço de um projeto;

De acordo com as não-conformidades que foram identificadas na inspeção final do produto ou durante a análise do *FMEA*, são estabelecidas para os QG as mais críticas para o mesmo e as que existem em maior quantidade.

Definido a localização dos *Quality Gates* e as não-conformidades que irão ser controladas em cada um, é definido a(s) ferramenta(s) a utilizar para se registar as mesmas. A ferramenta mais adequada para se realizar registo são as folhas de verificação. Tendo por base esta ferramenta da qualidade é necessário criar um documento de registo, onde deve constar os defeitos predeterminados na análise.

De seguida é necessário definir-se a(s) ferramenta(s) de monitorização e os *KPI's* (*Key Performance Indicators*), indicadores do resultado da inspeção realizada no *Quality Gate*. Isto para que possa ser medido e realizado o acompanhamento do desempenho em cada Gate, o objetivo é mostrar visualmente em cada etapa quais as não-conformidades que estão a surgir imediatamente após montagem, alertar os operadores, proceder-se à reparação dos defeitos e analisar as causas raiz para que a não-conformidade pudesse ocorrer, neste indicador deve ser apresentado também o resultado realizado na inspeção final do elemento. A ferramenta mais adequada para monitorização e com uma leitura mais fácil e rápida é o Diagrama de Pareto. O *KPI* de cada Gate deverá estar na linha produtiva para que todos os colaboradores, desde os operadores até aos diretores, possam verificar o que está a ser detetado naquela etapa do processo. Este *KPI*, tal como foi dito, apresenta as não-conformidades que estão a ser detetadas na inspeção, através desta indicação e da tipologia do defeito é necessário realizar a análise de causa raiz para que se tome ações de contenção e ações corretivas necessárias, de forma a que o mesmo defeito não volte a surgir no próximo produto a ser fabricado, montado na determinada etapa. Assim, é essencial definir-se as ferramentas de análise de causa das não-conformidades que irão ser utilizados, as mais adequadas para esta análise são o Diagrama de *Ishikawa* e o 5W2H.

3.3. Terceira Fase: Implementação

Uma vez terminada a segunda fase, definição e desenvolvimento, onde foram definidos a localização dos *Quality Gates* no processo, as ferramentas de recolha, de monitorização e de análise de causa raiz, procede-se a sua implementação na linha produtiva. Inicia-se este processo com o envolvimento de todas as pessoas que são inerentes ao produto e à sua produção, é importante informar, explicar e acompanhar esta etapa na linha, transmitindo aos operadores e aos inspetores sobre o novo conceito de inspeção que irá ser implementado. É aconselhável definir os inspetores para cada Gate, os mesmos devem realizar a inspeção com a folha de verificação, que consta os defeitos pré-determinados a serem verificados naquela inspeção.

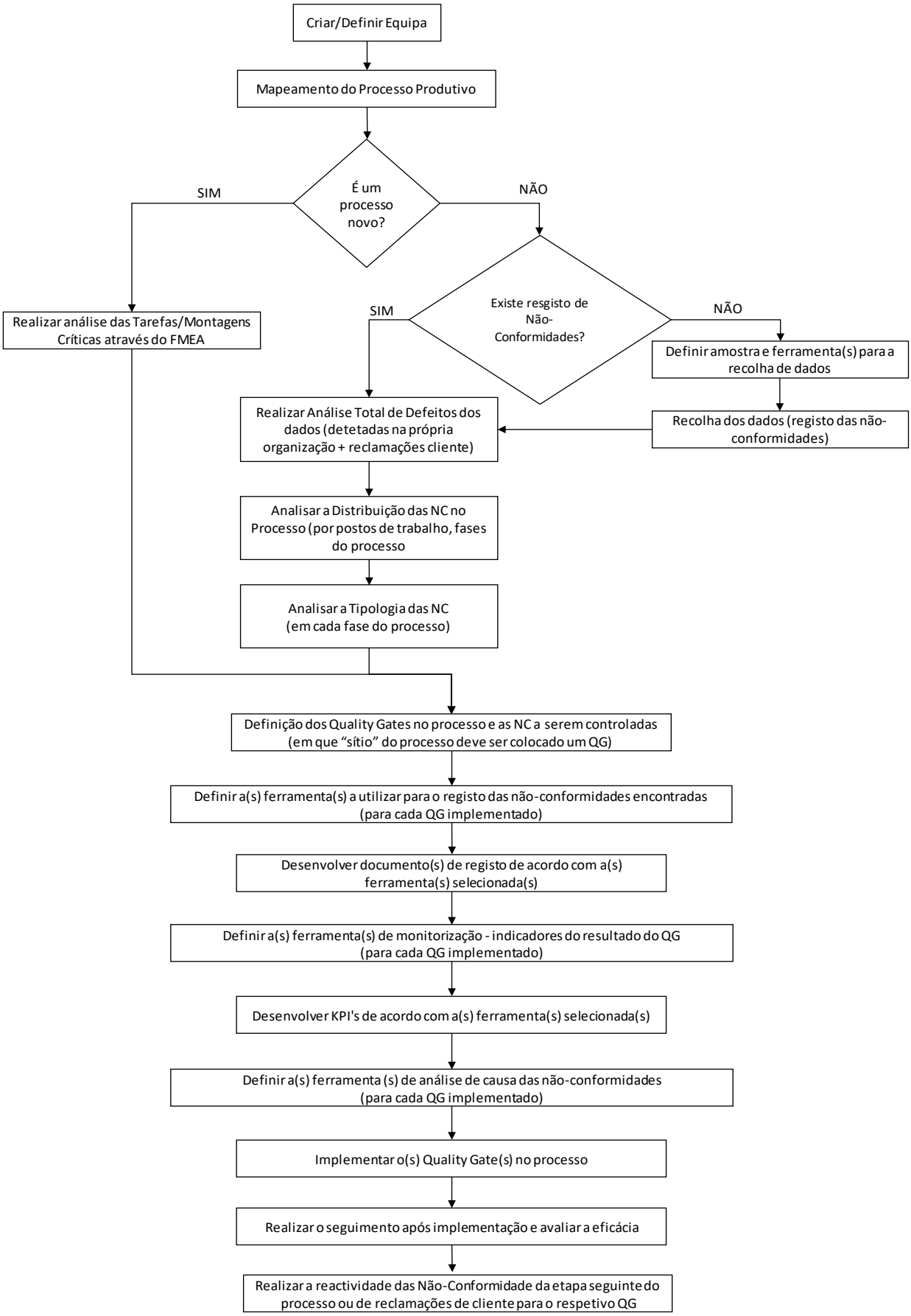

Figura 25 - Fluxograma da Metodologia Quality Gate [autor]

3.4. Quarta Fase: Seguimento

Nesta última fase e após a implementação da metodologia no processo, assim como em qualquer metodologia ou ferramenta, é imprescindível fazer-se um seguimento e avaliar a eficácia da mesma nos primeiros um ou dois meses.

Aquando da implementação na linha, é muito importante acompanhar os inspetores de qualidade na linha produtiva, nos primeiros três a quatro elementos (se for verificado autonomia e que foi bem compreendido o método poderá ser menos elementos, ou mais caso contrário).

Além deste follow-up próximo no chão de fábrica, o seguimento deve ser feito através da monitorização dos *KPI's* (*Key Performance Indicators*), indicadores do resultado da inspeção realizada no *Quality Gate* definidos, é aconselhável realizar-se um ritual semanal ou quinzenal junto com a direção.

Porém, é ainda muito importante realizar-se a reatividade das não-conformidades para o posto de trabalho onde as mesmas ocorrem. Na Figura 26, podemos ver um exemplo da reatividade, as setas cinzentas representam a passagem dos defeitos para a próprio posto, neste caso o inspetor mostra as mesmas diretamente ao operador e ao monitor daquela fase do processo, as setas amarelas é a passagem dos defeitos detetados na inspeção final para os *quality gates*, os defeitos devem ser passados entre os inspetores e os documentos de registo de inspeção (por exemplo folhas de verificação) devem ser atualizados com estas novas não-conformidades, ou com as que se verifique o aumento das mesmas, por fim, as setas laranjas representam a reatividade dos defeitos que são detetados e reclamados pelo cliente. Toda a reatividade dos defeitos dever ser sempre dirigida a fase do processo onde ocorrem os mesmos.

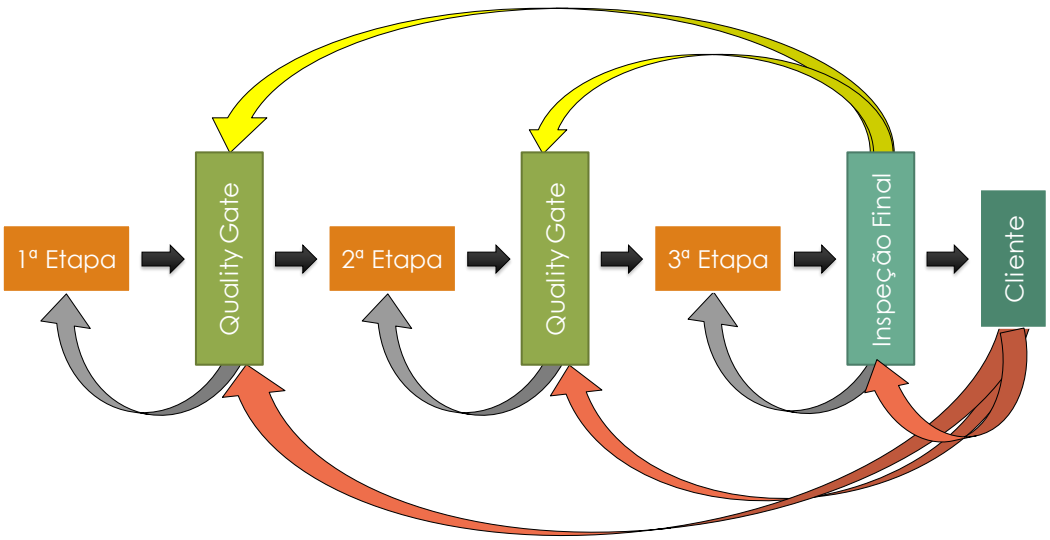

Figura 26 - Exemplo da reatividade de um processo com QG entre várias etapas [autor]

4. Aplicação dos Quality Gates na Indústria Aeronáutica (Caso de Estudo)

De forma a realizar o estudo apresentado desenvolveu-se um trabalho de investigação em parceria com uma empresa do ramo aeronáutico, no qual foi considerado adequado não mencionar o nome, com o intuito de minimizar a divulgação de alguns aspetos organizacionais e informações sensíveis. Deste modo, será mantida alguma privacidade dos documentos, processos, produtos e clientes.

4.1. Qualidade na Indústria Aeronáutica

A indústria aeronáutica é uma indústria com uma complexidade muito alta e com riscos à segurança associados as atividades desempenhadas na mesma. Por este motivo, o controlo de qualidade e a prevenção de falhas aplicados em todos os diferentes processos, devem ser robustos de forma a minimizar o risco de erros. O setor, em larga expansão, requer cada vez mais o domínio sobre todos os parâmetros que assegurem qualidade. Assim sendo, para garantir a qualidade total é necessário que a implementação de um sistema de gestão de qualidade integrado seja capaz de difundir não exclusivamente as políticas, mas as ferramentas auxiliares na obtenção dos resultados esperados para uma empresa manter-se competitiva.

Na aviação não pode haver falhas, um erro pode ser fatal. Logo, é expectável que toda e qualquer oportunidade que possa ocorrer uma falha seja antecipada e que medidas eficazes sejam tomadas para que um risco seja considerado aceitável. Uma das formas da realizar esta gestão de risco é através da identificação prévia de uma possível falha. Esta análise pode ser feita com a utilização da ferramenta FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*). Com esta ferramenta, abordada anteriormente na presente dissertação, é possível mapear um processo identificando possíveis riscos e tomar ações para elimina-los e, ou prevenir os mesmos [6].

O elevado grau de exigência faz com que o pensamento da indústria aeronáutica seja o de que não existem peças ou processos menos importantes. Todo e qualquer procedimento é crítico para a segurança de voo que devem ser previstos, analisados e devem ser tomadas as devidas ações.

4.2. Caracterização da Empresa

Com dez décadas de história desde a sua criação, a empresa detém hoje em dia um papel de relevo a nível mundial no negócio da manutenção e fabricação aeronáuticas.

No negócio da manutenção a empresa oferece uma vasta gama de serviços eu vão desde uma simples reparação até soluções de gestão total de frota, oferece ainda serviços de manutenção de aeronaves militares, aeronaves comerciais, motores, componentes e engenharia.

No negócio da fabricação, a empresa apresentasse atualmente como um grande fornecedor de soluções integradas para OEM's (*Original Equipment Manufacturer)* e fornecedores de primeira linha, apresentando a capacidade para fornecer conjuntos e subconjuntos de estruturas aeronáuticas, em material metálico ou compósito, abrangendo um largo espectro de produtos de aeroestruturas.

Ao longo da sua história vem acumulando conhecimentos e experiência que se traduzem no fornecimento de produtos e serviços da mais alta qualidade a clientes de todo o mundo.

A empresa mantém-se atenta à evolução da indústria aeronáutica e demonstra estar à altura dos padrões exigidos pelas diversas Autoridades Aeronáuticas, conseguindo assim as necessárias certificações, entre as quais se incluem:
- DOA (*Design Organisation Approval*) Parte 21:
- POA (*Production Organisations Approvals*) Parte 21;
- CAMO (*Continuing Airworthiness Management Organisation*) Parte M;
- MOA (*Maintenance Organisation Approvals*) Parte 145,

Emitidas pela EASA (*European Aviation Safety Agency*), FAA (*Federal Aviation Administration*) Parte 145, sendo ainda certificada ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004.

4.3. Quality Gates na Linha Produtiva

Segundo William Thomson, quando se pode medir aquilo que se está a falar e exprimi-lo em números, sabe-se algo sobre isso; mas quando a questão não se pode medir, quando não se pode exprimi-la em números, o nosso conhecimento é de um género deficiente e inspiratório.

Como afirmou este autor, conhecido também como Lorde Kelvin, a tomada de ações deve ser baseada em dados reais, se possível, quantitativos. Daí a importância da utilização de métodos (estatísticos) que permitam a recolha e análise de dados quantitativos que exprimam as características do processo.

4.3.1. Mapeamento do Processo Produtivo

Inicialmente, começou por se conhecer o produto que iria ser estudado para se aplicar a metodologia de Quality Gate no seu processo. O produto final, neste caso o Elemento Final é constituído por o Elemento 1 e o Elemento 2, como representado na cascata simplificada do mesmo na Figura 27.

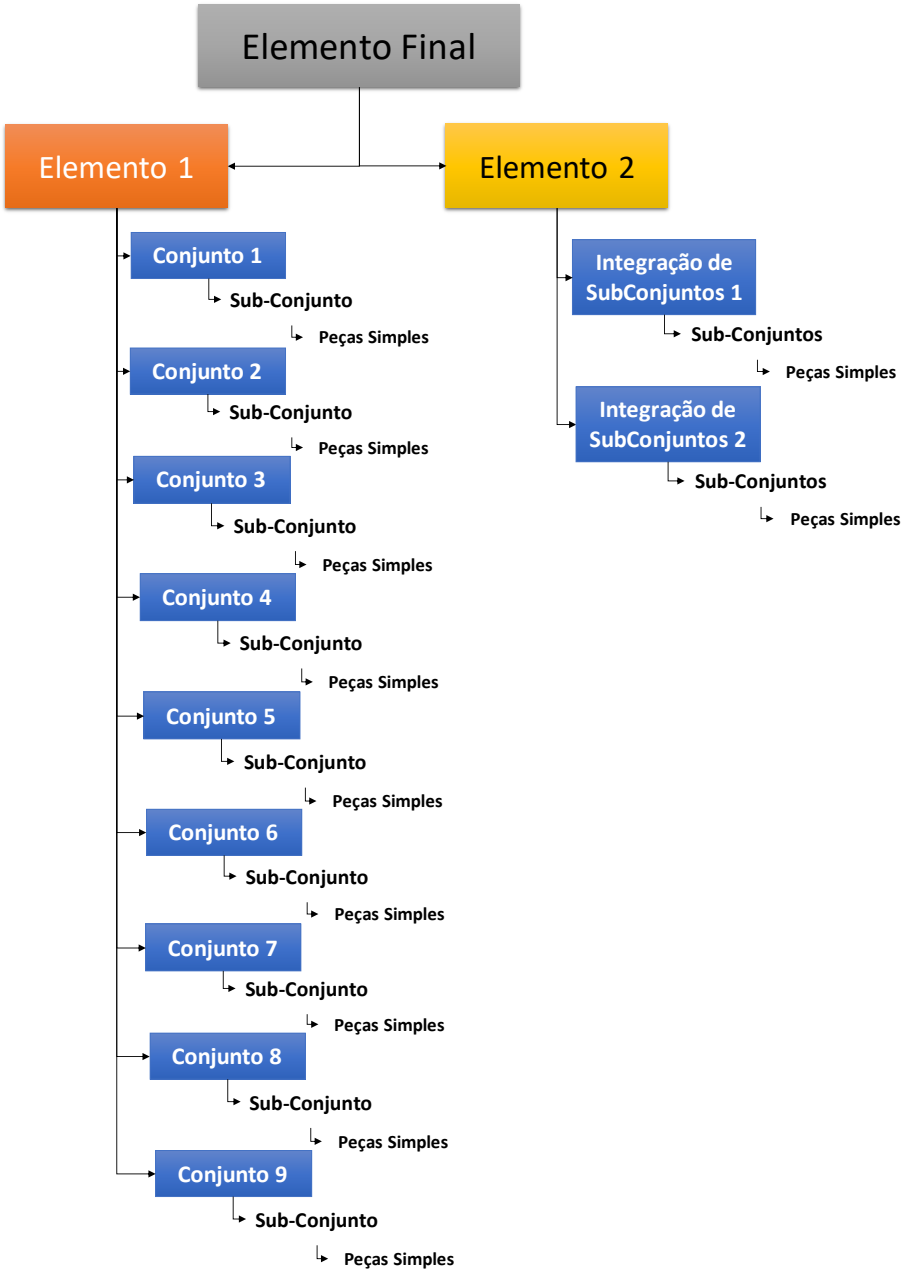

Figura 27 - Cascata simplificada do produto [autor]

Seguindo o fluxograma de implementação dos *Quality Gates*, Figura 25, foi definida uma equipa de cinco elementos, e deu-se início ao mapeamento do processo de fabrico do produto. A Figura 28, representa o fluxo de montagem da linha produtiva deste produto.

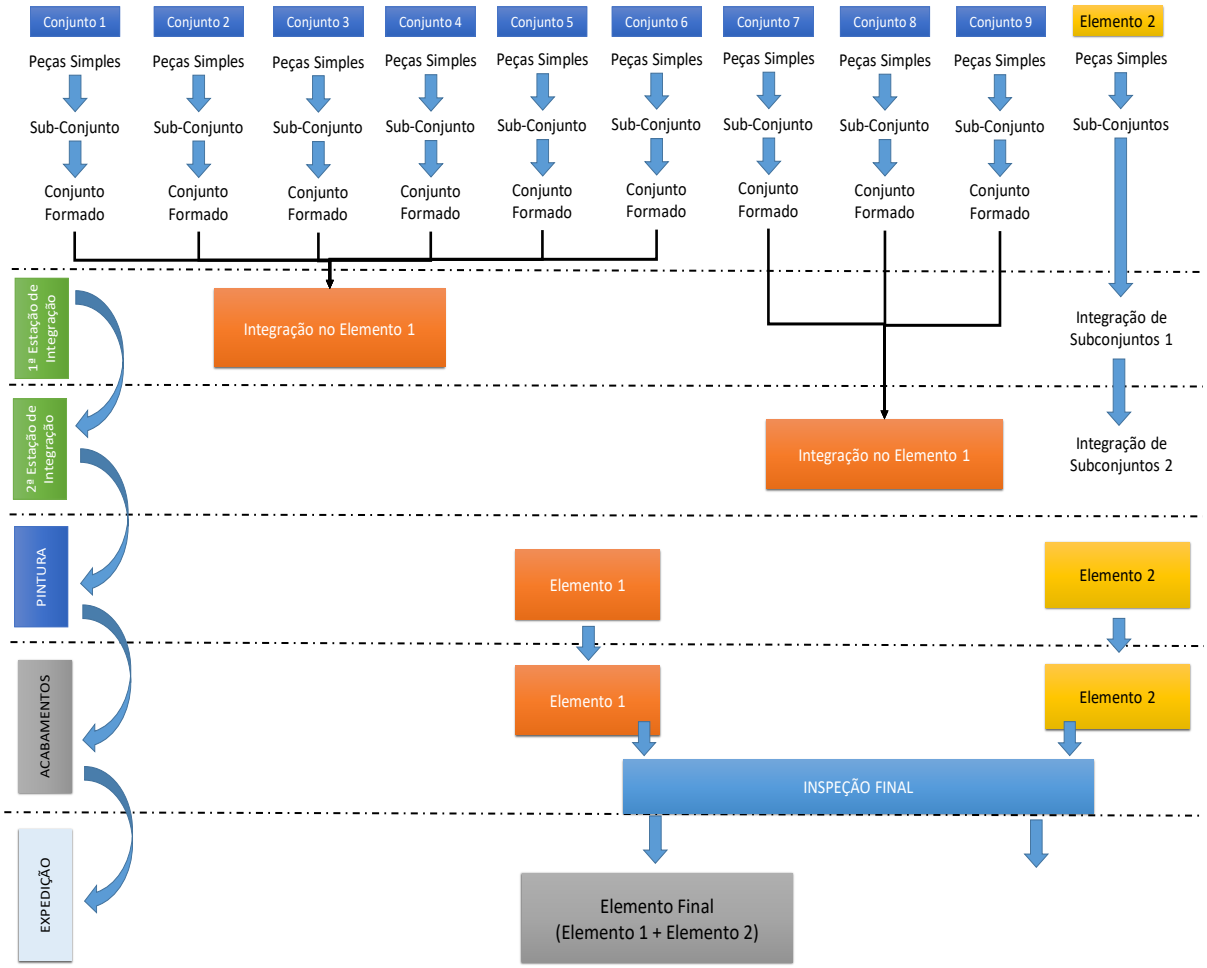

Figura 28 - Fluxo de montagem da linha produtiva do Elemento Final [autor]

Como se pode verificar, na Figura acima, o processo inicia-se formando os conjuntos dos elementos 1 e 2, para isto é realizado o débito de peças simples para a linha de montagem, de seguida são formados subconjuntos e consequentemente os conjuntos ficam completos.

Após esta fase, todos os conjuntos já formados (conjuntos 1 a 6) passam para à primeira estação de integração, onde os mesmos são integrados, formando a estrutura do elemento 1, na fase seguinte do processo, a estrutura do elemento 1 e os conjuntos 7 a 9 avançam para a segunda estação de integração, para que os conjuntos 7 a 9 sejam montados na estrutura do elemento 1 já formada.

O elemento 2 é ligeiramente diferente, a única diferença é que não se formam conjuntos, simplesmente são montados subconjuntos e através da integração dos mesmos através das duas estações de integrações, semelhante ao processo do elemento 1, é formado o elemento 2.
Concluído a montagem dos elementos 1 e 2, estes vão para a pintura e à posteriori são enviados para a área de acabamentos e é realizada a inspeção final, por último os elementos 1 e 2 são expedidos.

Durante o processo de montagem estão presentes dois tipos de cliente, o externo e o interno. O cliente externo como o próprio nome indica é o cliente final, quem compra o produto. É aquele a quem a empresa quer satisfazer na sua plenitude, dado que depende dele existência da organização. O cliente interno é o departamento, operador ou neste caso, a equipa de produção que recebe os elementos para mais uma etapa de construção. A existência do cliente interno é de extrema importância para se garantir um cliente externo satisfeito. Por este motivo deve-se promover um vínculo entre satisfação do colaborador e satisfação cliente, criando-se assim uma relação de coresponsabilidade entre empresa e colaboradores.

4.3.2. Análise dos Dados da Inspeção Final dos Elementos

Realizado o mapeamento do processo produtivo, e já identificado que não é um processo novo e que a empresa já tinha registo de não-conformidades da inspeção final, foi efetuado o levantamento e análise para uma amostra de dez Elementos Finais, (dez Elementos 1 e dez Elementos 2), do Elemento Final número 315 até ao Elemento Final número 325 (os números dos elementos não correspondem ao número do elemento na realidade, com o intuito de minimizar a divulgação de informações sensíveis, de modo a manter a privacidade dos processos, produtos e clientes). Nesta amostra foram identificados cerca de 2388 defeitos na inspeção final dos elementos finais e 352 defeitos provenientes de reclamações de cliente, como se pode ver no Gráfico 1, o número total de defeitos do Elemento 1 e do Elemento 2, tanto das inspeções finais como das reclamações de cliente.

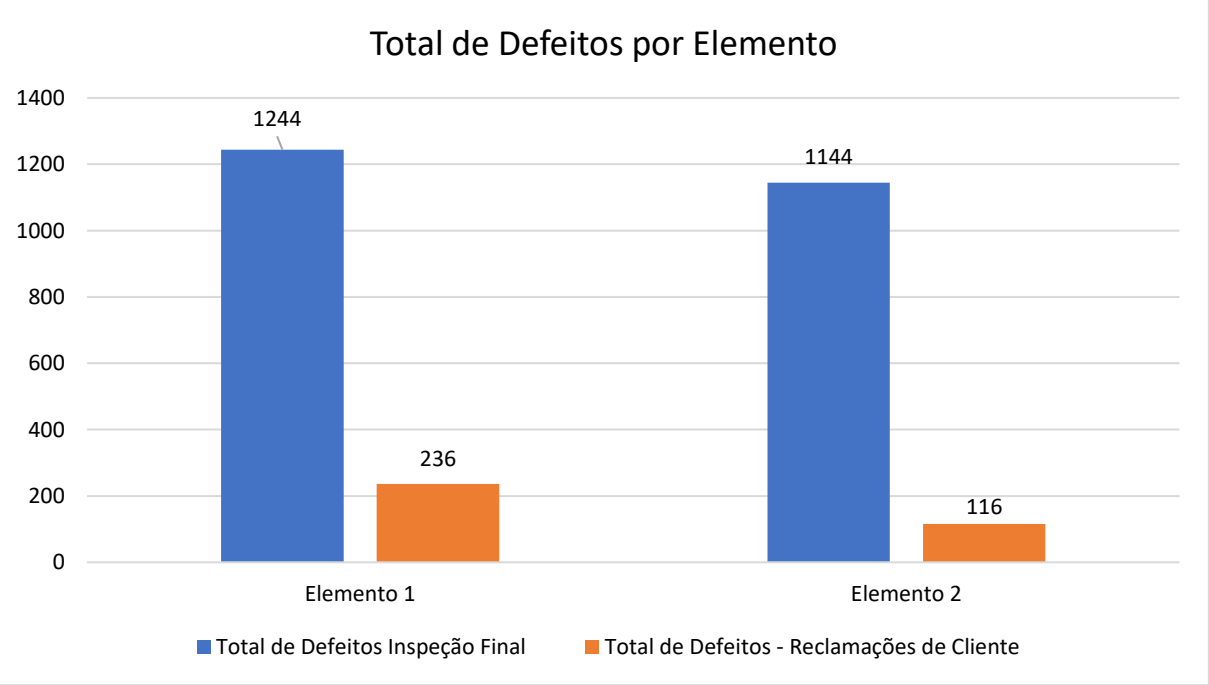

Gráfico 1 - Total de Defeitos por Elemento [autor]

No Gráfico 2, é possível visualizar a distribuição do número total de defeitos por elemento final, com a divisão entre o Elemento 1 e o Elemento 2, este gráfico apenas contempla os defeitos da inspeção final.

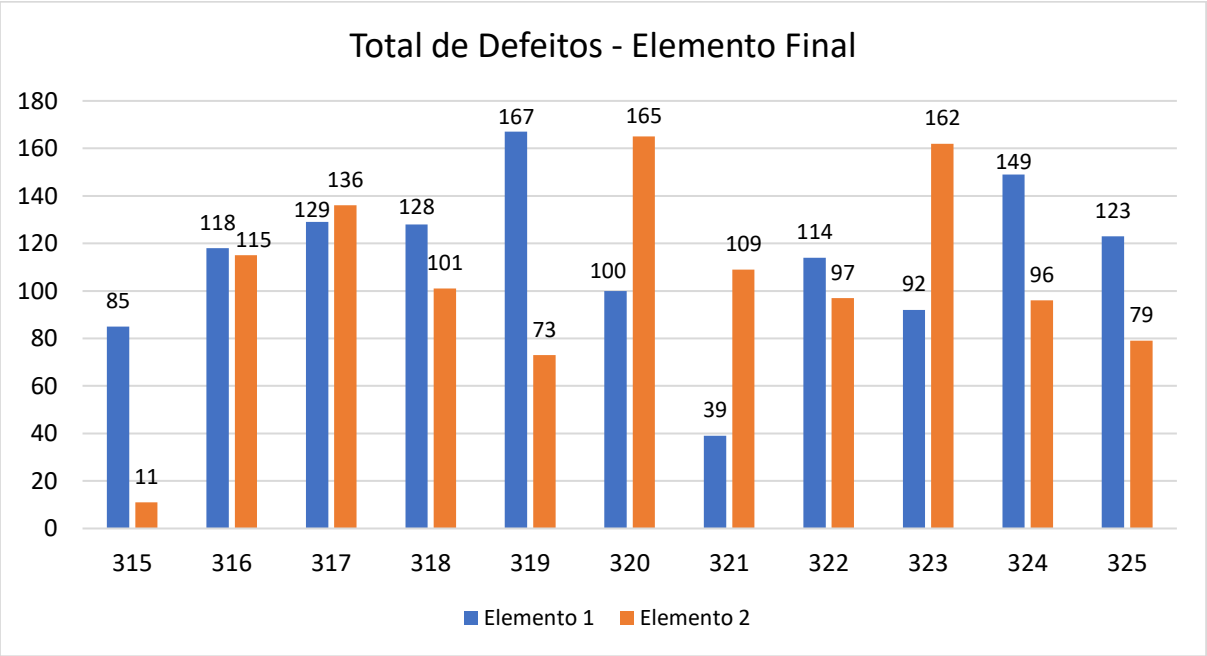

Gráfico 2 - Total de Defeitos da Inspeção Final por Elemento Final [autor]

No Gráfico 3, é possível visualizar a distribuição do número total de defeitos por elemento final, com a divisão entre o Elemento 1 e o Elemento 2, de defeitos provenientes das reclamações de cliente de onde se verifica que nos últimos quatro elementos houve um aumento do número de defeitos detetados pelo cliente na sua inspeção de receção dos elementos finais.

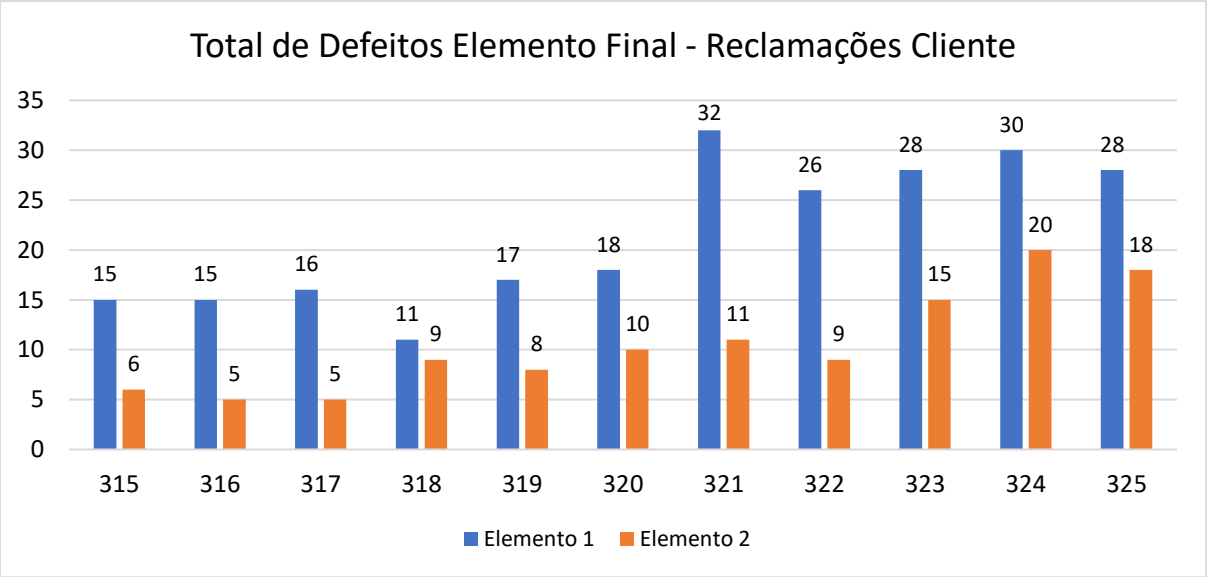

Gráfico 3 - Total de Defeitos de Reclamações de Cliente por Elemento [autor]

O próximo passo, seguindo o fluxograma apresentado na Figura 25, foi identificar a distribuição das não-conformidades detetadas nos conjuntos do Elemento 1 e nas Integrações dos Subconjuntos do Elemento 2 através de um diagrama de pareto. Assim, analisando o Gráfico 4, é possível saber quais os conjuntos onde são detetadas mais não-conformidades e consequentemente, saber a fase do processo produtivo do mesmo, para este estudo apenas foi contabilizado os 2388 defeitos na inspeção final dos elementos finais.

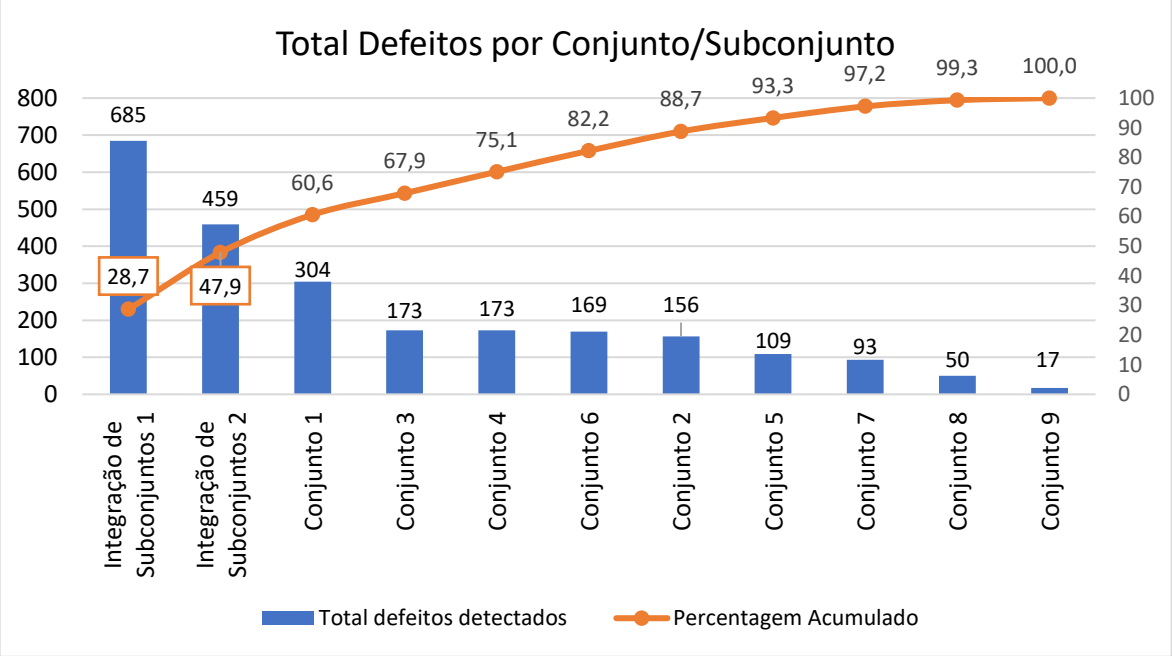

Gráfico 4 - Total de Defeitos por Conjunto/Subconjunto [autor]

Com este resultado, foi selecionado o Elemento 2 (Integração dos Subconjuntos 1 e Integração dos subconjuntos2), e do conjunto 1 até ao conjunto 6, esta seleção teve por base a quantidade dos defeitos, e por estes conjuntos serem todos montados na primeira fase de integração do elemento 1. Sendo que o Elemento 2 representa 1144 dos defeitos finais (47,9% dos defeitos), os conjuntos de 1 ao conjunto 6 representam 1084 dos defeitos finais (45,4% dos defeitos) e o conjunto 7 até ao conjunto 9 (montados no elemento 1 apenas na segunda estação de integração) representam 160 dos defeitos finais (6,7% dos defeitos). O Gráfico 5 apresenta o total dos defeitos, sendo que no elemento 1 já não são contabilizados os 160 defeitos dos conjuntos 7 até ao conjunto 9.

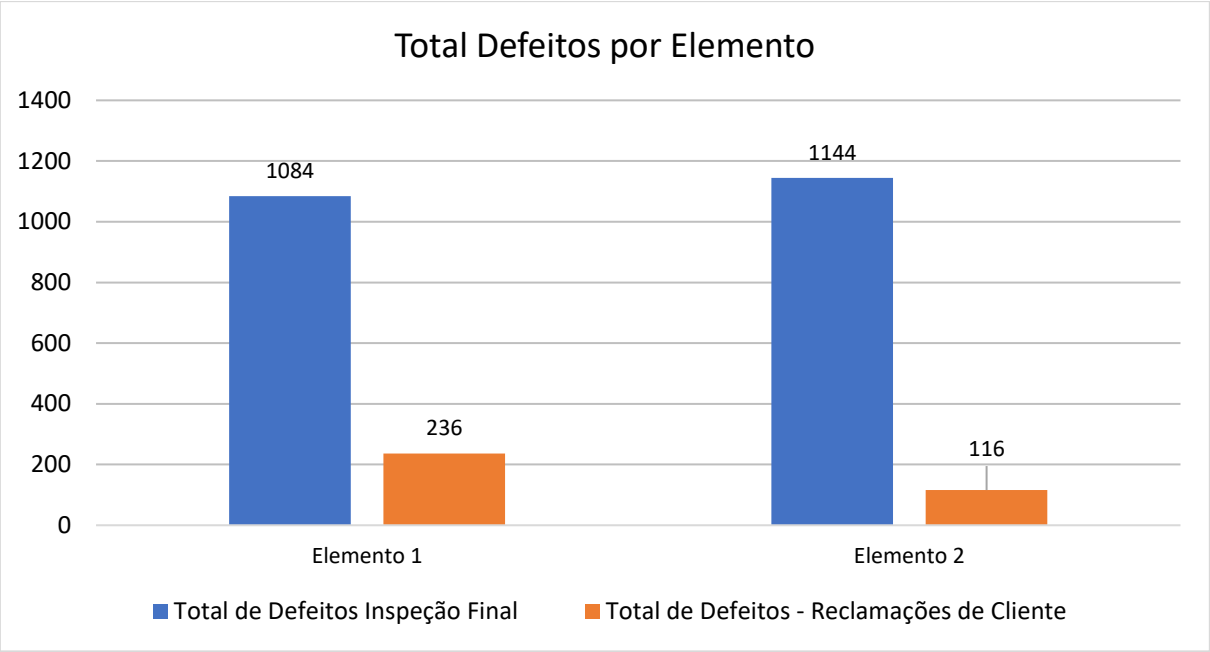

Gráfico 5 - Total de Defeitos por Elemento (sem os conjuntos 7, 8 e 9) [autor]

No último passo da primeira fase da metodologia "Análise", foi observado (ainda com a mesma amostra, mas sem os 160 defeitos do conjunto 7 até conjunto 9) a tipologia das não-conformidades total apresentado na Tabela 11 e no Gráfico 6.

A tipologia das não-conformidades registadas, nesta análise global são:

- Cravação;
- Massas Vedantes;
- Marcas;
- Limpeza;
- Montagem;
- Folgas;
- Furação;
- Pintura;
- Deformação;

Tabela 11 - Dados dos Defeitos por Tipologia [autor]

Tipologia	Total de Defeitos	Acumulado	Percentagem [%]	Percentagem acumulado [%]
Pintura	675	675	30,3	30,2
Massas Vedantes	577	1252	25,9	56,1
Marcas	290	1542	13,0	69,1
Cravação	244	1786	11,0	80,1
Limpeza	215	2001	9,6	89,7
Montagem	155	2156	7,0	96,7
Folgas	26	2182	1,2	97,8
Deformação	23	2205	1,0	98,9
Furação	23	2228	1,0	99,9
TOTAL	2228		100,0	

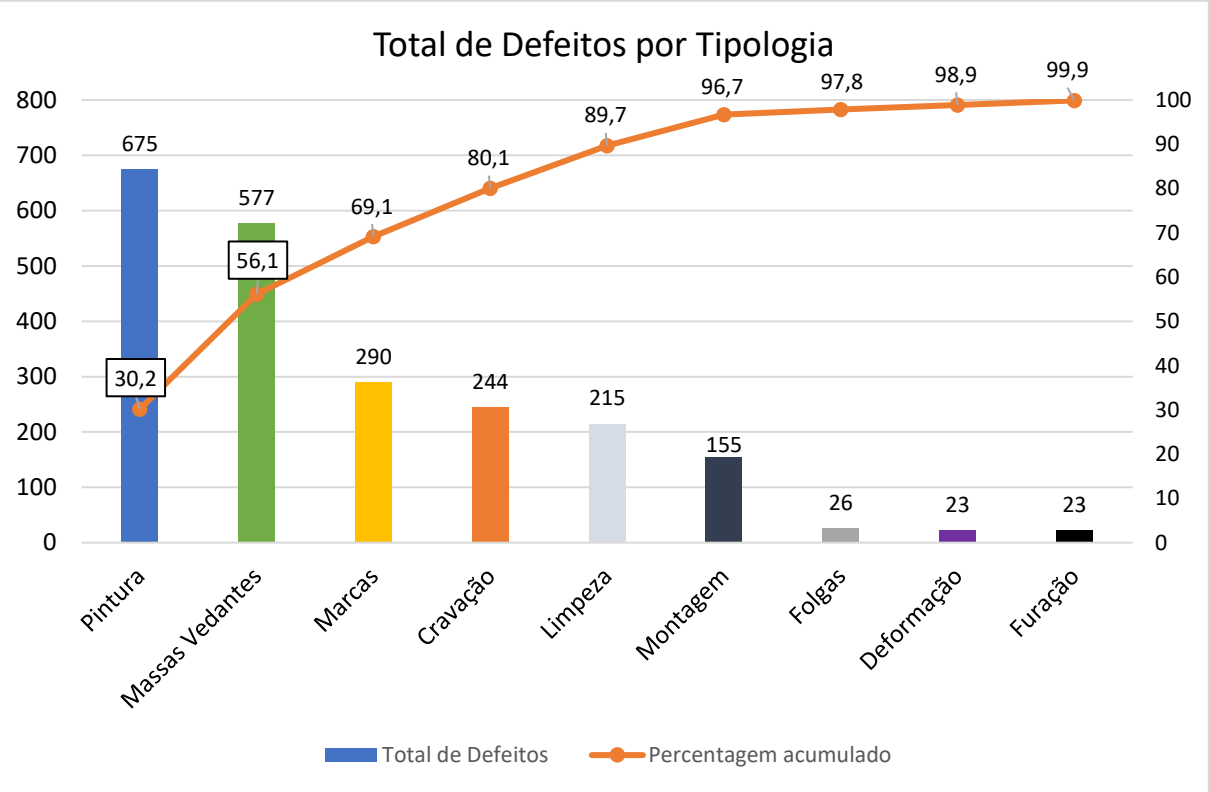

Gráfico 6 – Total de Defeitos por Tipologia das Não-Conformidades [autor]

Com este resultado e após uma observação sobre o mesmo, os defeitos de Pintura, Massas Vedantes, Marcas e Cravação representam um acumulado de 80% dos defeitos totais, assim estes quatro tipos de defeitos serão aqueles que vamos inspecionar, monitorizar e analisar a sua causa raiz, em cada Quality Gate dos elementos selecionados.

De forma a solucionar e a reduzir estes quatro tipos de não-conformidades, foi realizado para cada tipologia um diagrama de *Ishikawa*, e de forma a auxiliar o planeamento das ações de melhoria foi utlizado em conjunto com os diagramas de *Ishikawa,* o método 5W2H, os mesmos não foram apresentados nesta dissertação pois continham informações que não podiam ser partilhadas.

Identificado as não-conformidades a controlar, foi feito o levantamento dos defeitos para cada elemento selecionado, detalhadamente para o Elemento 2, Conjunto 1, Conjunto 3, Conjunto 4, Conjunto 6, Conjunto 2 e o Conjunto 5, sendo possível verificar nos Gráficos 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13 a distribuição dos mesmos.

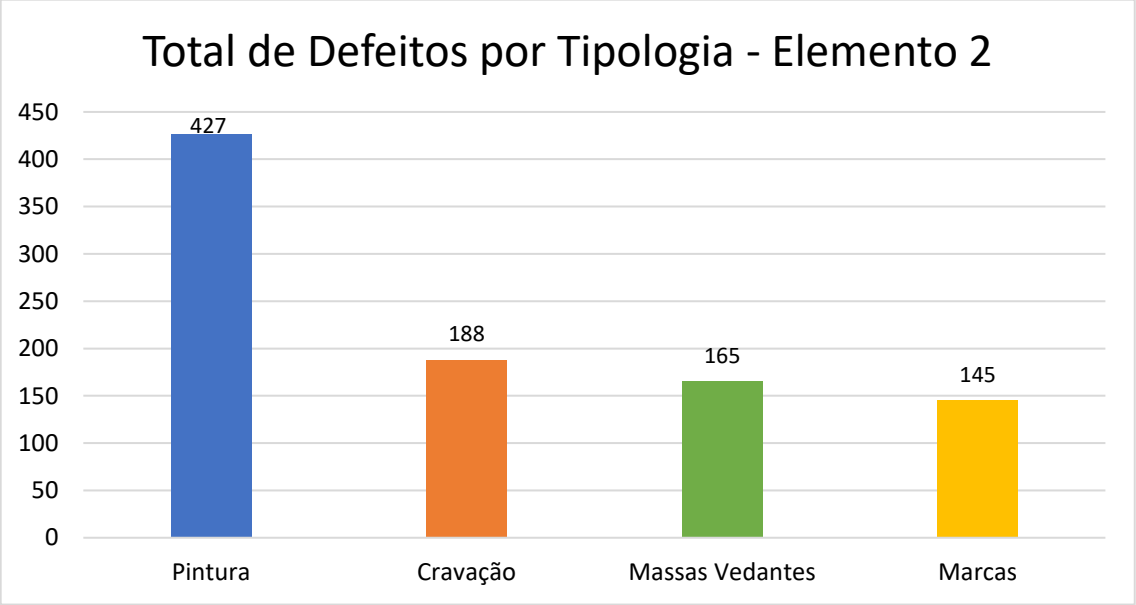

Gráfico 7 - Total de Defeitos por Tipologia - Elemento 2 [autor]

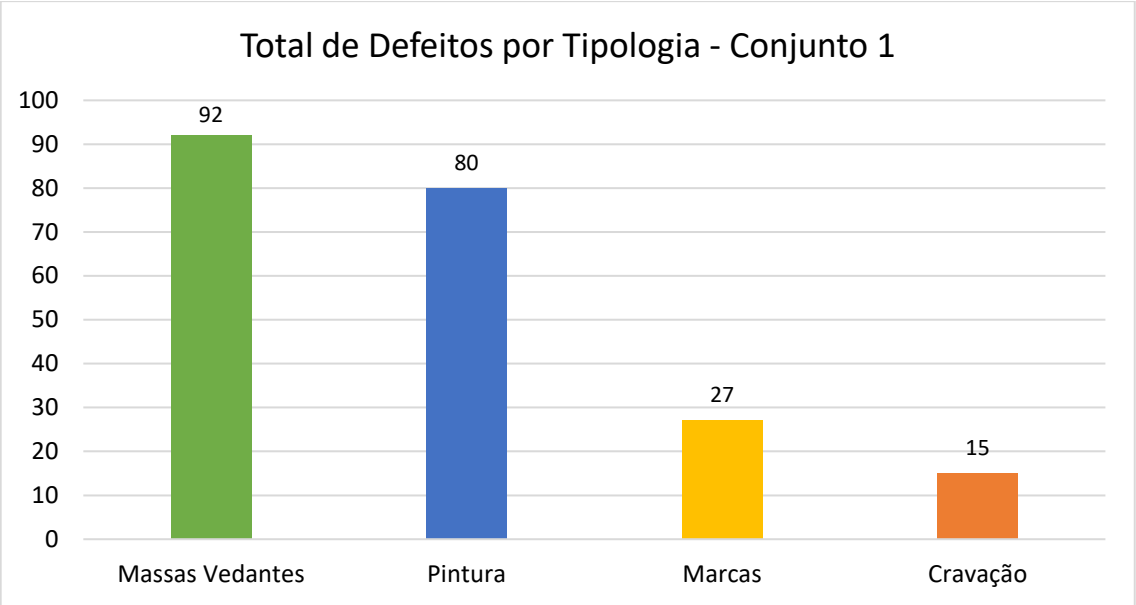

Gráfico 8 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 1 [autor]

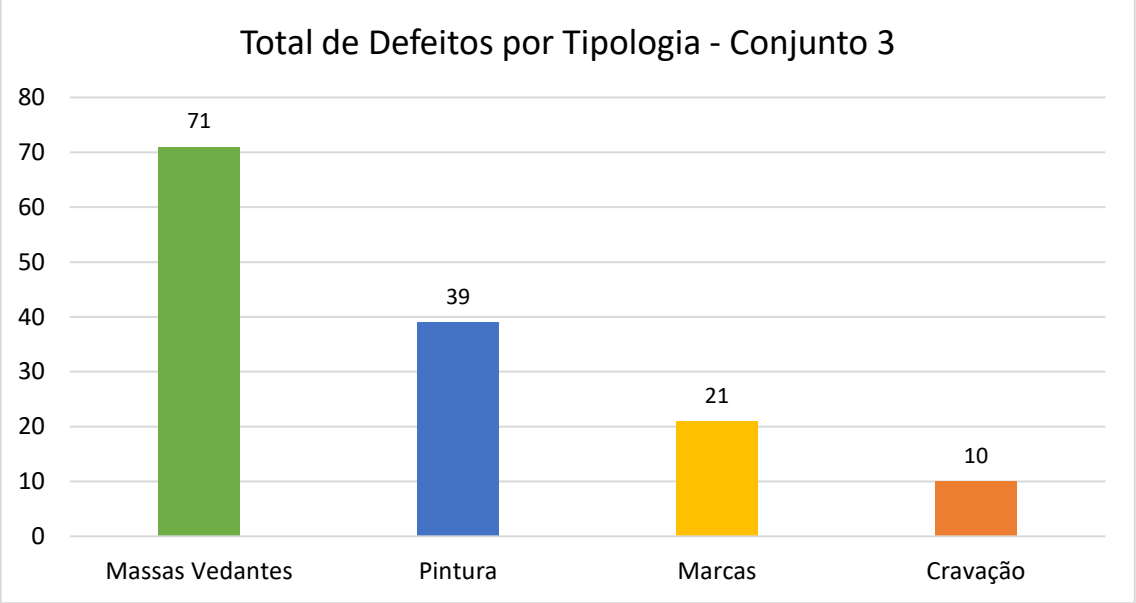

Gráfico 9 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 3 [autor]

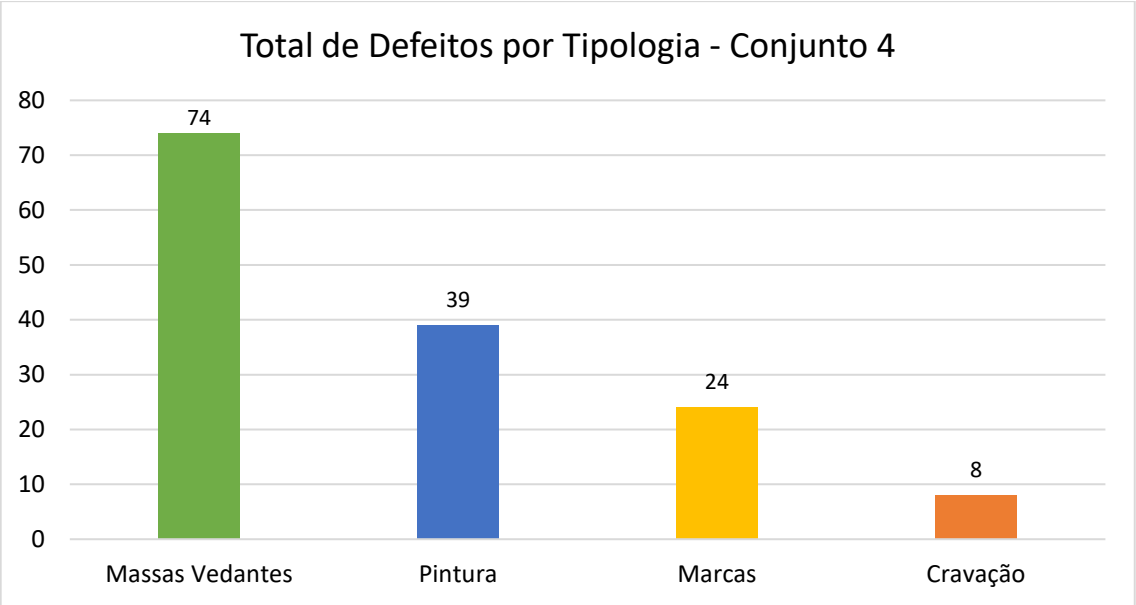

Gráfico 10 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 4 [autor]

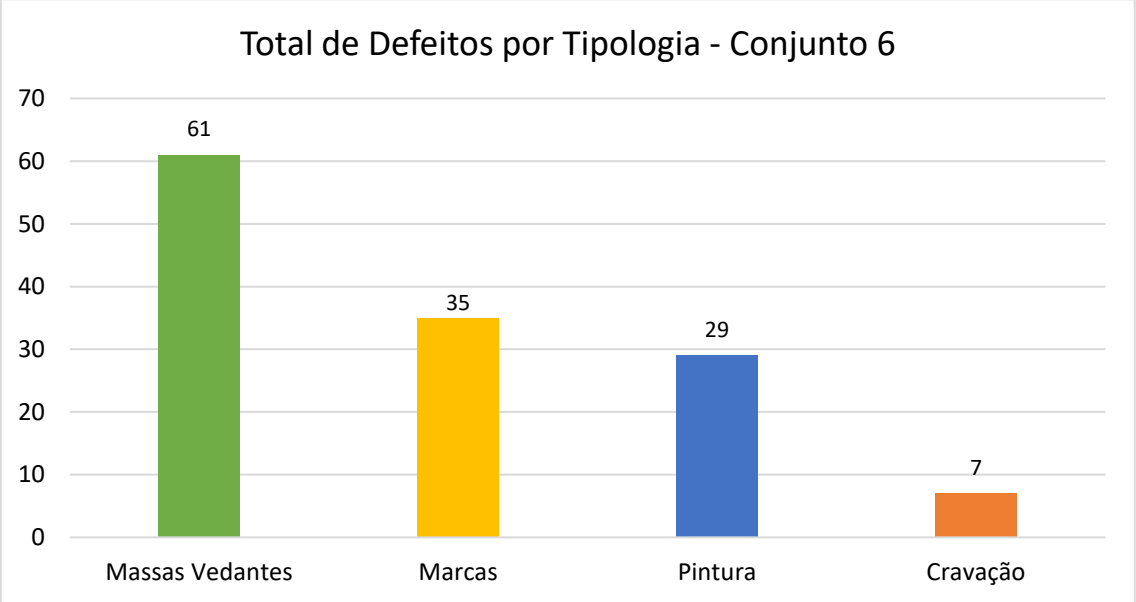

Gráfico 11 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 6 [autor]

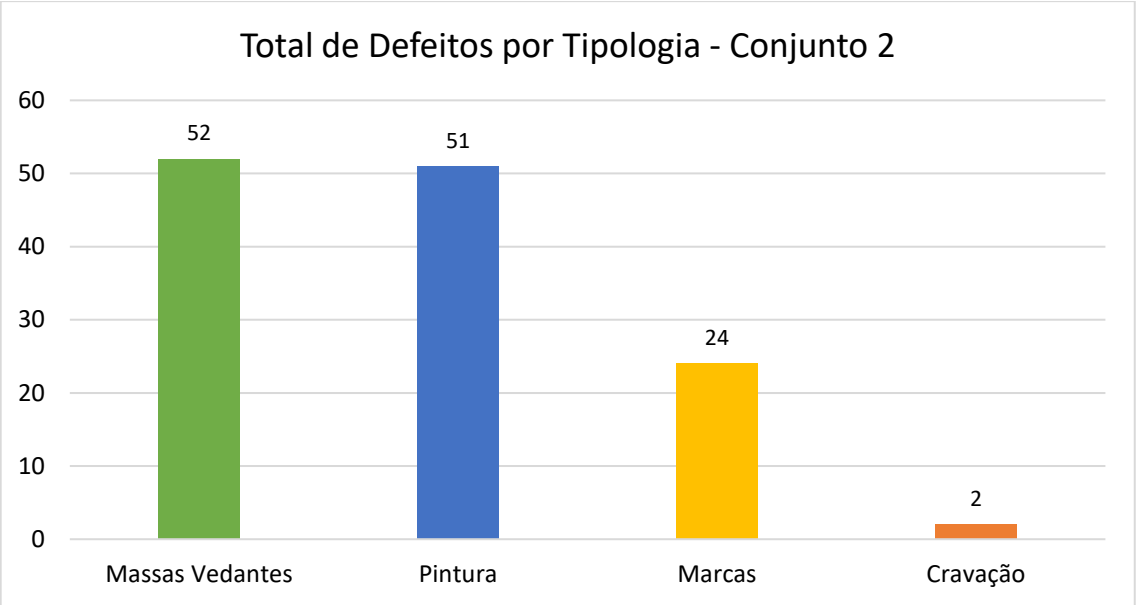

Gráfico 12 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 2 [autor]

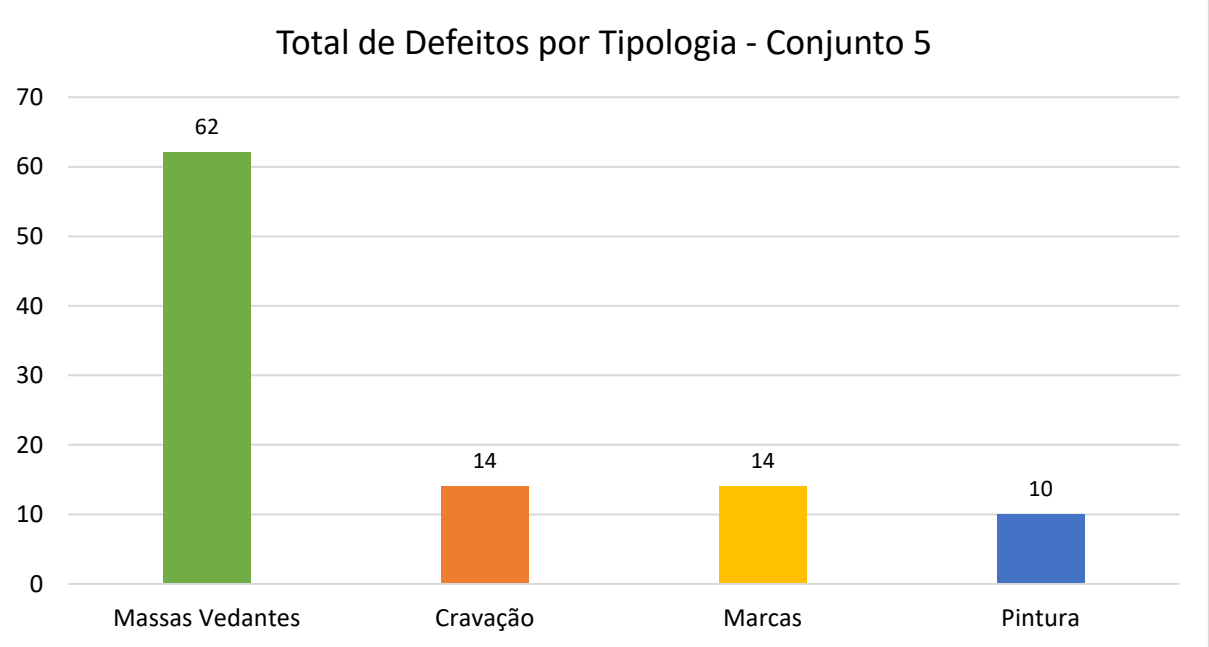

Gráfico 13 - Total de Defeitos por Tipologia - Conjunto 5 [autor]

4.3.3. Definição e Desenvolvimento dos Quality Gates

Tendo sido concluída a primeira fase da metodologia de implementação (Análise), Figura 25, segue-se a segunda fase de definição e desenvolvimento dos *quality gates*. Uma vez que na primeira fase foi elegido os conjuntos que necessitam de ter uma inspeção intermédia e as não-conformidades a serem

controladas nessa mesma inspeção, o próximo passo foi elaborar o mapeamento do processo produtivo já com a localização dos *Quality Gates*.

Como se pode confirmar na Figura 29, foram implementados na linha produtiva dez *quality gates*. Relativamente aos conjuntos 1 ao 6 foram implementados os *quality gates*, do número 1 ao número 6, quando os conjuntos estão totalmente prontos antes dos mesmos avançarem para a primeira estação de integração, sendo desta forma mais fácil realizar uma inspeção e identificando as não-conformidades nesta fase e não na fase de inspeção final. Analogamente no processo de fabrico do Elemento 2, foram colocados dois *quality gates* depois da conclusão da montagem das integrações, um quality gate número 7 depois da primeira estação de integração (integração de Subconjuntos 1) e outro quality gate número 8 depois da segunda estação de integração (integração de Subconjuntos 2), pois como se pode visualizar no Gráfico 4, os defeitos na integração de subconjuntos 1 e 2, são 685 defeitos e 459 defeitos, respetivamente, sendo estes dois subconjuntos os que apresentaram mais não-conformidades identificadas na inspeção final do Elemento 2.

Os *quality gates* número 9 e 10 correspondem às inspeções após pintura, uma vez que 30% dos defeitos da amostra analisada são de pintura.

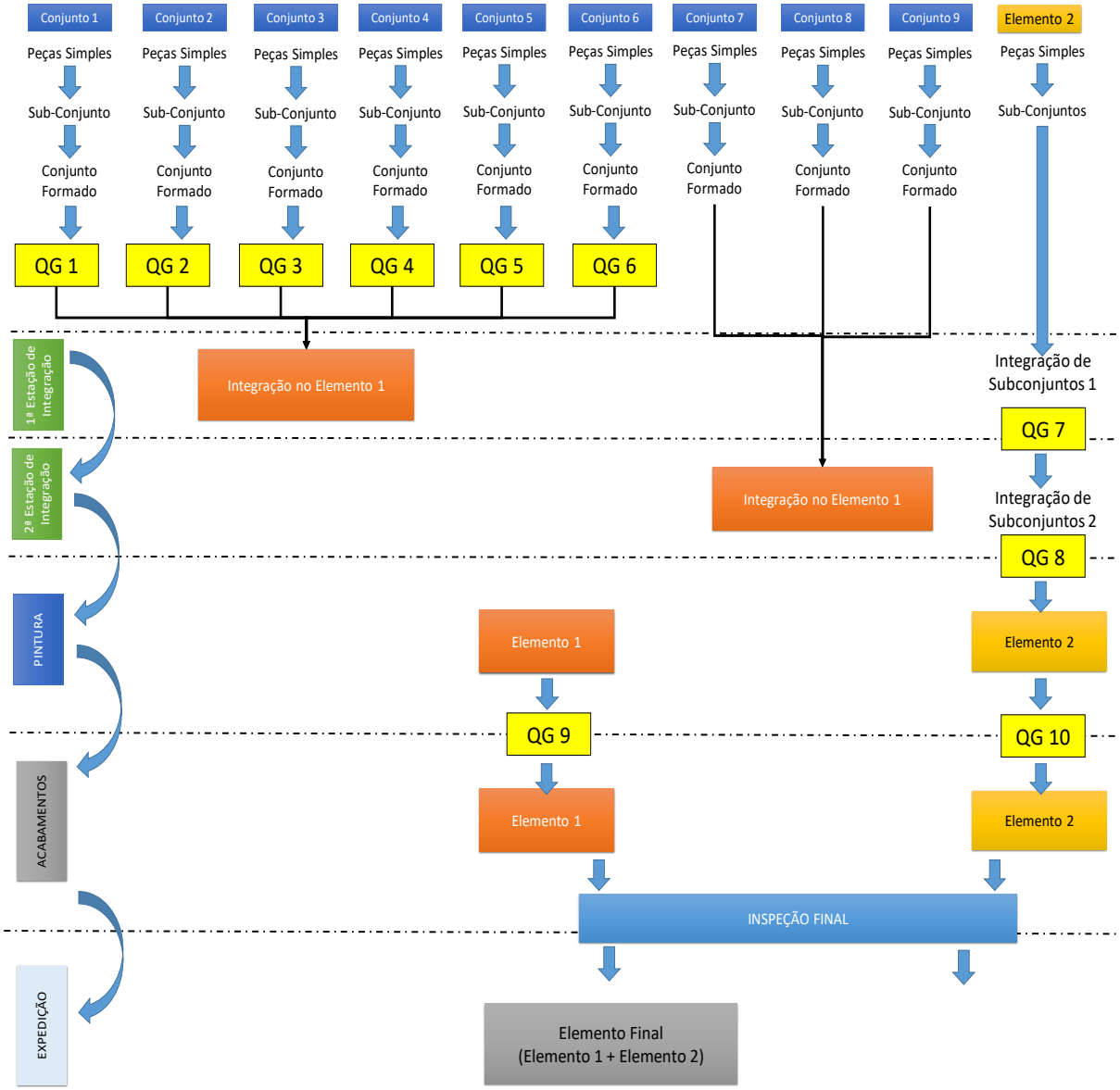

Figura 29 - Fluxo de montagem da linha do Elemento Final com Quality Gates [autor]

O próximo passo foi definir a ferramenta para realizar os registos das não-conformidades encontradas e os documentos de registo que são preenchidos e validados pelos inspetores da qualidade. O documento desenvolvido foi um Livro de Inspeção (*Inspection Book*), baseada na ferramenta da qualidade, Folhas de Verificação, em que metade da folha encontra-se o desenho do elemento com uma malha e uma codificação nas suas extremidades, muito semelhante ao que podemos encontrar no jogo "batalha naval" para que se possa verificar a localização do defeito, e na outra metade da folha encontram-se todos os defeitos (cravação, massas vedantes, marcas, limpeza, montagem, folgas, furação, pintura e deformação) com a respetiva codificação da malha para inspeção dos mesmos. No entanto, os defeitos que são monitorizados e analisados são os defeitos selecionados anteriormente (Pintura, Massas Vedantes, Marcas e Cravação).

Os Livros de Inspeção são preenchidas pelo inspetor que obedecem ao seguinte procedimento de trabalho: o inspetor examina o produto no determinado quality gate, regista nos livros a quantidade de defeitos. As não-conformidades, são corrigidas prontamente pela produção e é realizada nova inspeção (segunda verificação). Se desta vez os requisitos tiverem sido cumpridos faz-se a aprovação/certificação caso contrário, a produção será mais uma vez informada da situação para proceder a sua correção. A produção usa também os livros de inspeção para verificar a localização dos defeitos e assina a mesma quando conclui a reparação dos mesmos. Estes livros acompanham os elementos até a sua inspeção final.

Seguidamente, foi desenvolvido os *KPI's* de monitorização, foram utilizados os gráficos de barras com a apresentação dos quatro tipos de defeitos, foi escolhido este tipo de gráfico pois os mesmos estão fixos na linha de produção, cada QG com o seu, para que os operadores, monitores, supervisores, inspetores tenham uma leitura mais fácil e rápida na linha produtiva e fazer o seu seguimento.

Ainda em cada Quality Gate foi colocado na linha produtiva, um quadro com o layout disposto como apresentado na Figura 30, que tinha os seguintes documentos:

- Alertas Visuais, este documento carateriza e apresenta um defeito reclamado pelo cliente;
- Standards de Inspeção, neste documento encontra-se todas as características de qualidade face às normas do cliente, nomeadamente, critérios de aceitação do produto, como inspecionar e que equipamentos são necessários para realizar a inspeção;
- Livros de Inspeção, documento de registo das não-conformidades detetadas nos elementos (apresentado acima);
- KPI, gráfico de barras com a apresentação dos defeitos a ser monitorizados;

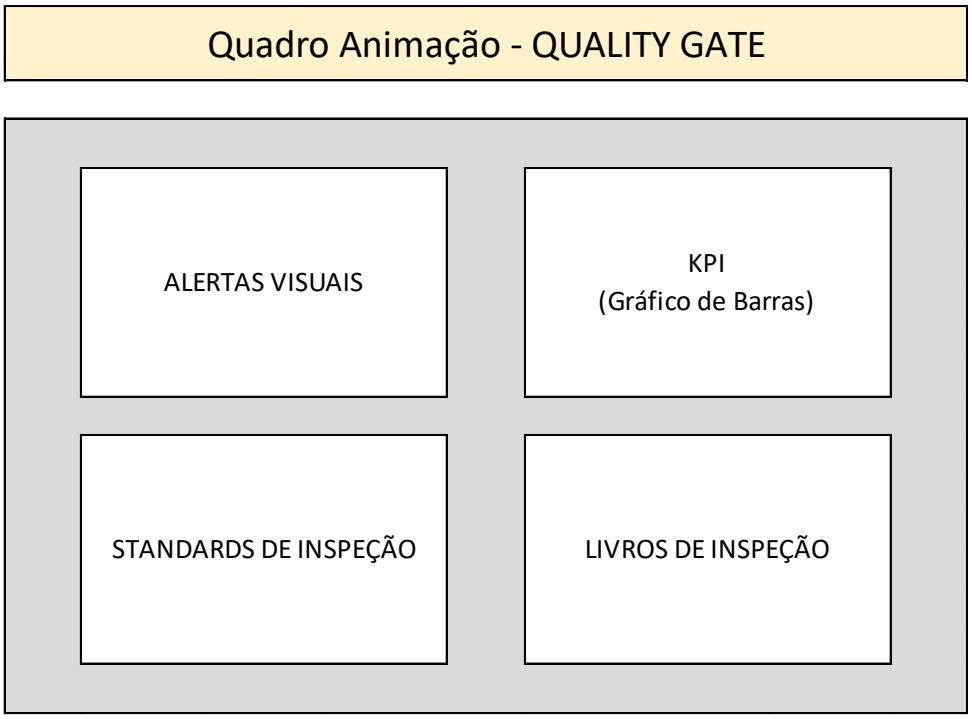

Figura 30 - Layout ilustrativo do Quadro de Animação do Quality Gate [autor]

Relativamente, e por último, as ferramentas de análise de causa das não-conformidades escolhidas foram o Diagrama de *Ishikawa* e o 5W2H.

4.3.4. Implementação e Seguimento na Linha Produtiva

A implementação começou com a formação aos operadores, monitores de produção, supervisores e aos inspetores, de seguida foram instalados na linha, em cada quality gate, o quadro de animação representado na Figura 30. De seguida, e já com todas as condições definidas, os documentos e quadros realizados e todas as pessoas envolvidas terem o conhecimento e como utilizar as ferramentas, foi necessário estabelecer qual o número do elemento que se iria começar a realizar as inspeções dos *quality gates*. O número do elemento de corte foram os seguintes pela ordem apresentada:

1. Elemento 2 (integração subconjuntos 1 e 2) -> Elemento de corte número 349
2. Conjunto 1 -> Elemento de corte número 350
3. Conjunto 3 -> Elemento de corte número 351
4. Conjunto 4 -> Elemento de corte número 351
5. Conjunto 6 -> Elemento de corte número 352
6. Conjunto 2 -> Elemento de corte número 353
7. Conjunto 5 -> Elemento de corte número 353

Foi decidido esta ordem de prioridade, primeiro o Elemento 2 e por último o conjunto 5, tendo em conta a quantidade de defeitos dos elementos como apresentado no Gráfico 4, no entanto e comum a todos aos elementos os *quality gates* número 9 e número 10 (*quality gates* após a pintura dos elementos 1 e 2) foram iniciados no elemento número 349. A implementação teve o desfasamento de entre elemento para que se pudesse fazer o seguimento completo de cada *quality gate* e de todos os elementos.

Face à quantidade de defeitos detetados na inspeção final e pelo cliente, traçou-se um objetivo de redução de 40% dos defeitos na inspeção final para o elemento final (elemento 1 + elemento 2) e uma redução de 50% dos defeitos detetados pelo cliente (reclamações de cliente)

Após a implementação e o seguimento foi efetuada uma análise para uma amostra de dez Elementos Finais, (dez Elementos 1 e dez Elementos 2), do Elemento Final número 349 até ao Elemento Final número 359 (os números dos elementos não correspondem ao número do elemento na realidade, com o intuito de minimizar a divulgação de informações sensíveis, de modo a manter a privacidade dos processos, produtos e clientes). Nesta amostra, foram apenas contabilizados os defeitos dos elementos selecionados (Elemento 2 (Integração dos Subconjuntos 1 e Integração dos subconjuntos2), e do conjunto 1 até ao conjunto 6), obtendo-se cerca de 1238 defeitos na inspeção final dos elementos finais e 135 defeitos provenientes de reclamações de cliente, como se pode ver no Gráfico 14, o número total de defeitos do Elemento 1 e do Elemento 2, tanto das inspeções finais como das reclamações de cliente.

No Gráfico 14, é possível visualizar a distribuição do número total de defeitos por elemento final após a implementação dos *quality gates*, com a divisão entre o Elemento 1 e o Elemento 2, este gráfico apenas contempla os defeitos da inspeção final.

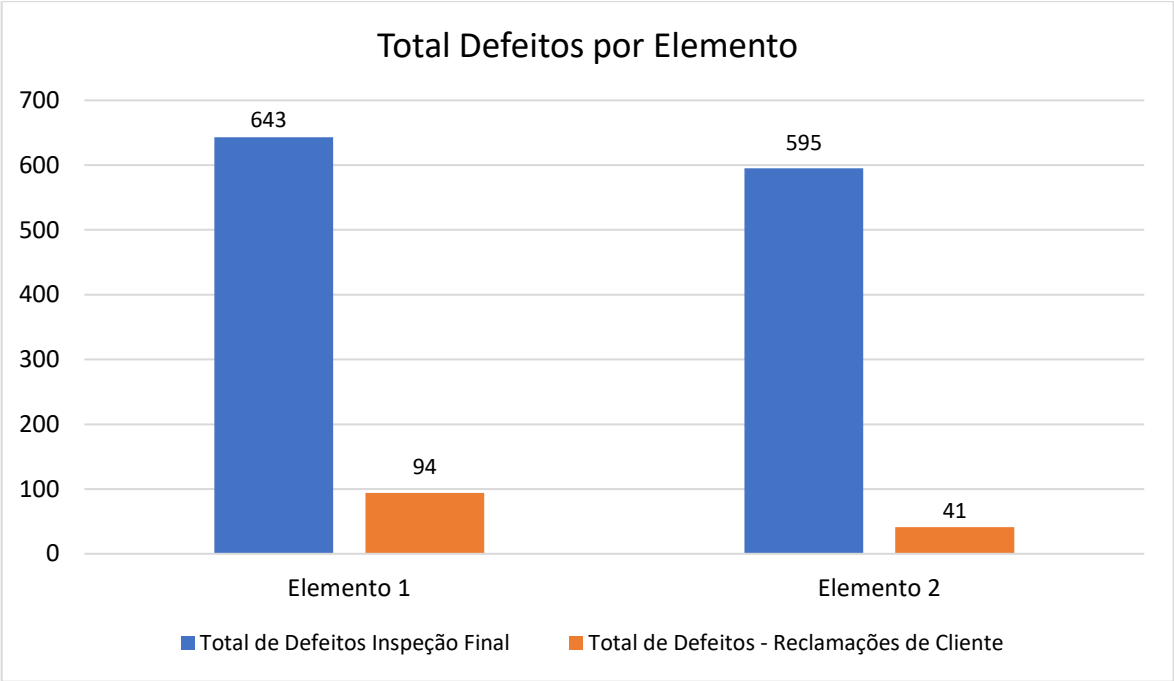

Gráfico 14 - Total de Defeitos por Elemento após quality gates [autor]

Observando os resultados obtidos no Gráfico 14 e comparando os mesmo ao Gráfico 5, é possível verificar que na inspeção final do elemento 1 houve uma redução de 441 defeitos (cerca de 40%) e na inspeção final do elemento 2 houve uma redução de 549 defeitos (cerca de 48%). Ao nível dos defeitos reclamados pelo cliente, nesta amostra, foram reclamados um total de 94 defeitos do elemento 1, houve uma redução de 142 defeitos (cerca de 60%) e um total de 41 defeitos do elemento 2, uma redução de 75 defeitos (cerca de 65%) comparativamente aos elementos antes da implementação dos *quality gates* na linha produtiva.

No Gráfico 15, é possível verificar a totalidade dos defeitos da inspeção final por Elemento Final após a implementação dos *quality gates*, no gráfico é ainda visível quando os mesmos começaram a ser colocados em prática. É possível apurar que desde a implementação no elemento final número 349 até ao elemento final 359 os defeitos detetados na inspeção final foram reduzindo.

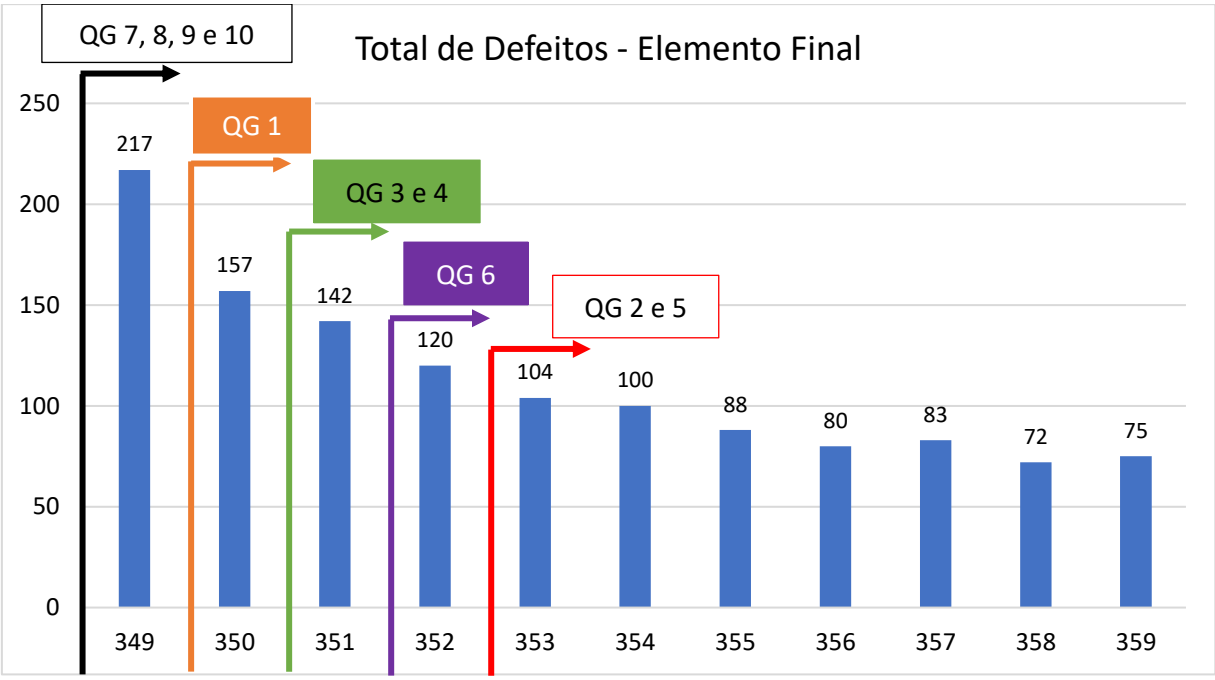

Gráfico 15 - Total de Defeitos da Inspeção Final por Elemento Final após quality gates [autor]

O Gráfico 16, apresenta a distribuição do número total de defeitos por elemento final, com a divisão entre o Elemento 1 e o Elemento 2, este gráfico apenas contempla os defeitos da inspeção final.

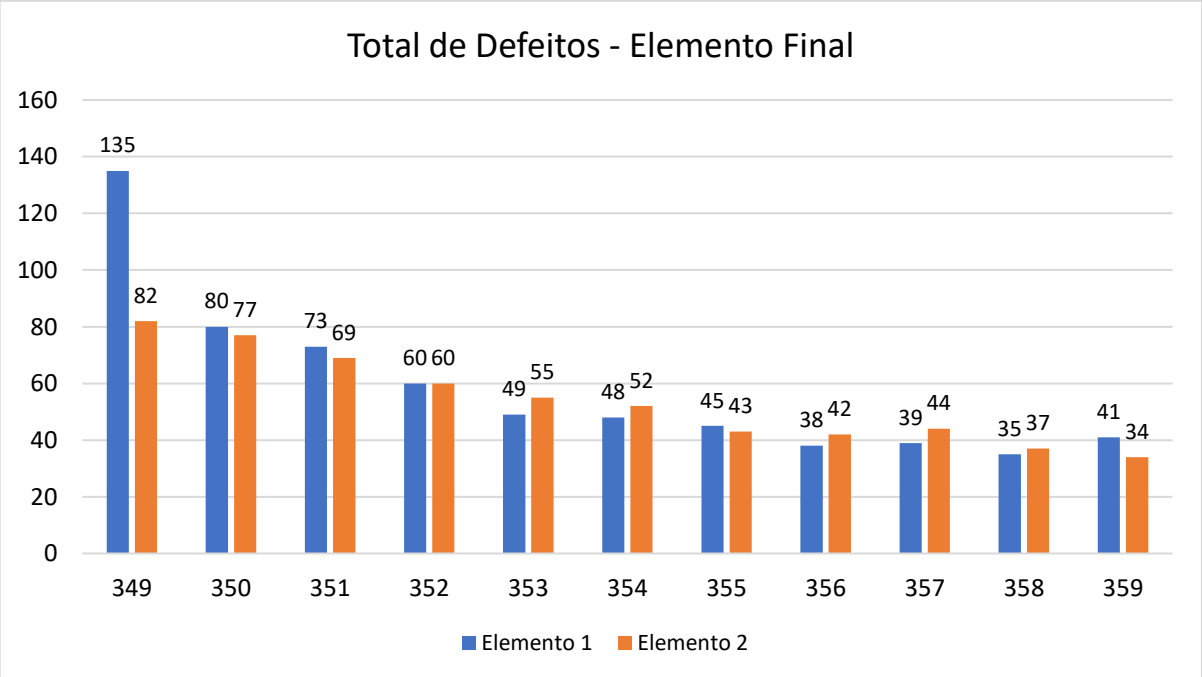

Gráfico 16 - Total de Defeitos da Inspeção Final por Elemento Final após quality gates [autor]

No Gráfico 17, é possível visualizar a distribuição do número total de defeitos por elemento final, com a divisão entre o Elemento 1 e o Elemento 2, de defeitos provenientes das reclamações de cliente. Como se pode observar, as não-conformidades reclamadas foram diminuindo, a semelhança do que aconteceu nas inspeções, o que seria de esperar, sendo que no elemento final número 359, elemento 2 o cliente não reportou nenhum defeito.

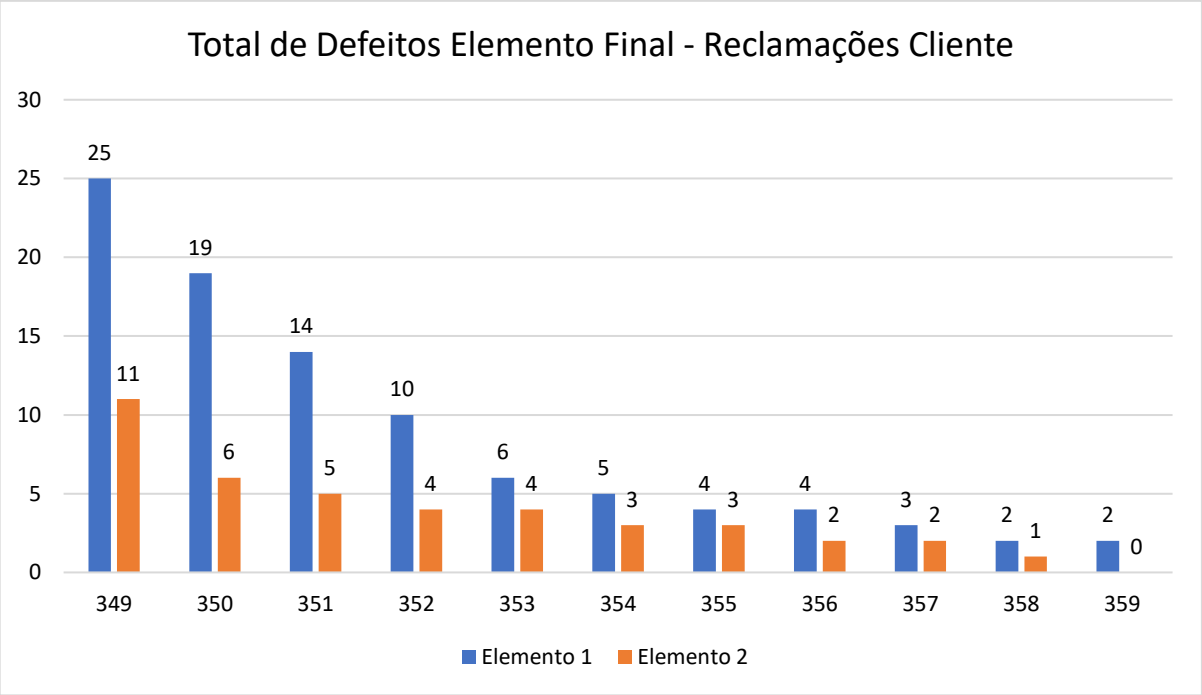

Gráfico 17 - Total de Defeitos de Reclamações de Cliente por Elemento Final após QG [autor]

O Gráfico 18, expõe o total de defeitos da inspeção final por conjunto antes da implementação dos quality gate na linha produtiva (colunas azuis) e o total de defeitos da inspeção final por conjunto após realização das inspeções intermédias (colunas laranja), onde é claramente visível a redução de defeitos na inspeção final.

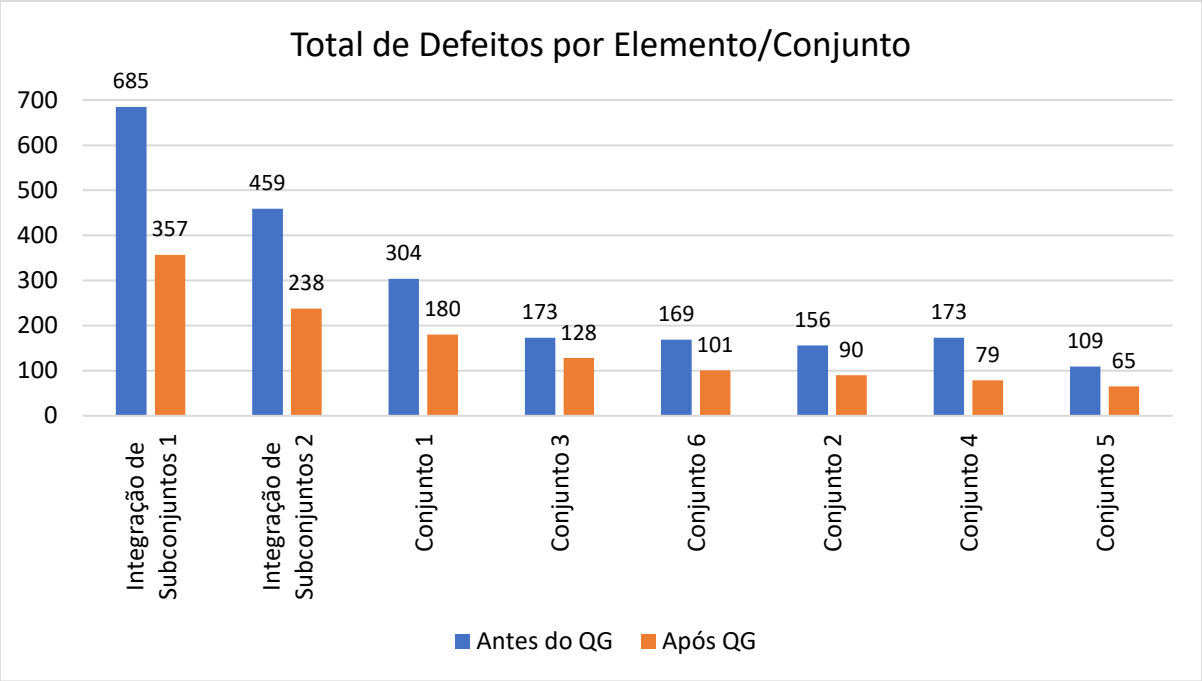

Gráfico 18 - Total de Defeitos por Conjunto/Subconjunto após quality gates [autor]

O Gráfico 19, exibe o total dos quatro tipos de defeito escolhidos no inicio da implementação detetados na inspeção final por conjunto antes da implementação dos quality gate na linha produtiva (colunas azuis) e os mesmos após realização das inspeções intermédias (colunas laranja), onde é nitidamente vísivel a redução de defeitos na inspeção final, sendo a pintura e as massas vedantes os defeitos que mais se consegui reduzir.

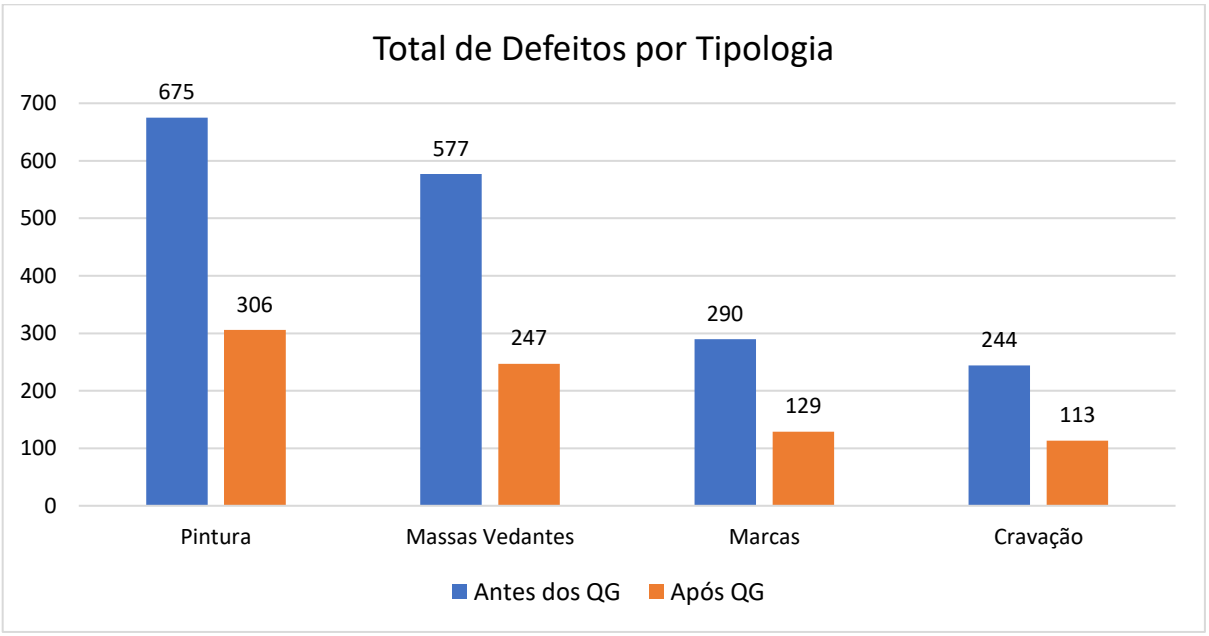

Gráfico 19 - Total de Defeitos por Tipologia das Não-Conformidades após QG [autor]

Tendo em conta os resultados apresentados acima, foi feito a comparação dos defeitos para cada elemento selecionado, detalhadamente para o Elemento 2, Conjunto 1, Conjunto 3, Conjunto 4, Conjunto 6, Conjunto 2 e o Conjunto 5, sendo possível verificar nos Gráficos 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26 a distribuição dos mesmos, em que as colunas azuis apresentam os valores antes da implementação dos *quality gates* (já representados anteriormente nos Gráficos 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13) e as colunas laranja o total de defeitos após a realização das inspeções intermédias (*quality gates*).

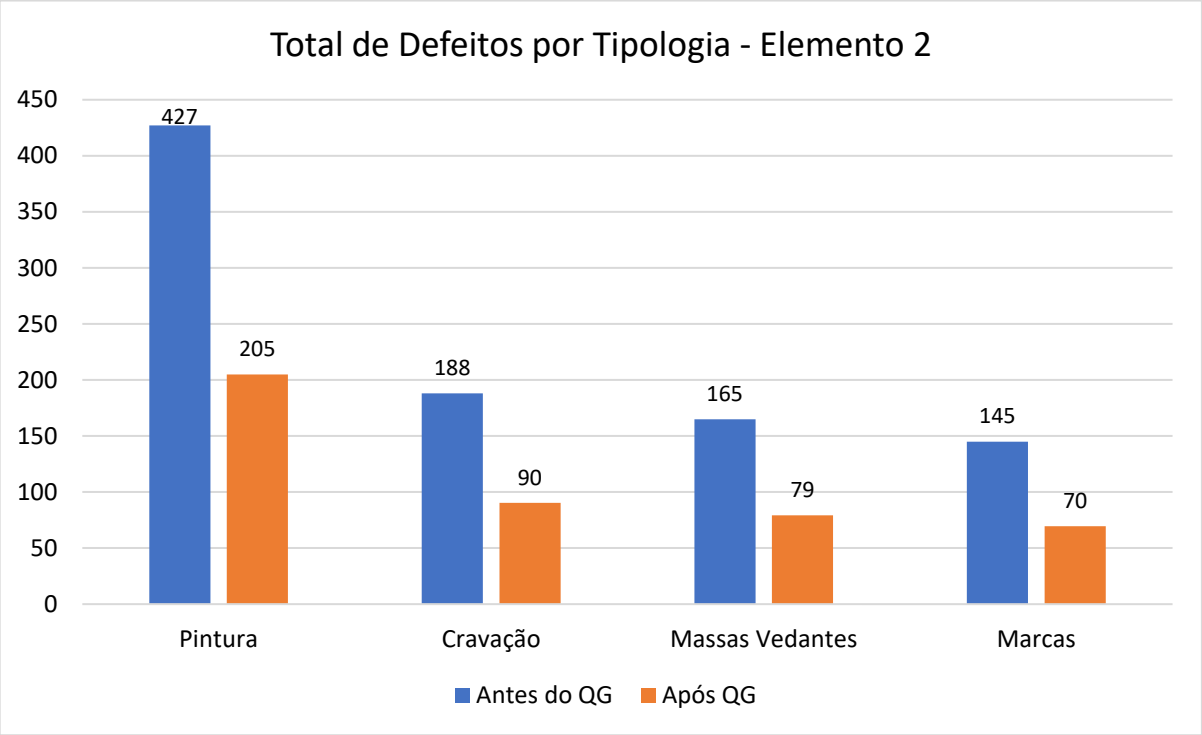

Gráfico 20 - Total de Defeitos por Tipologia - Elemento 2 após quality gate [autor]

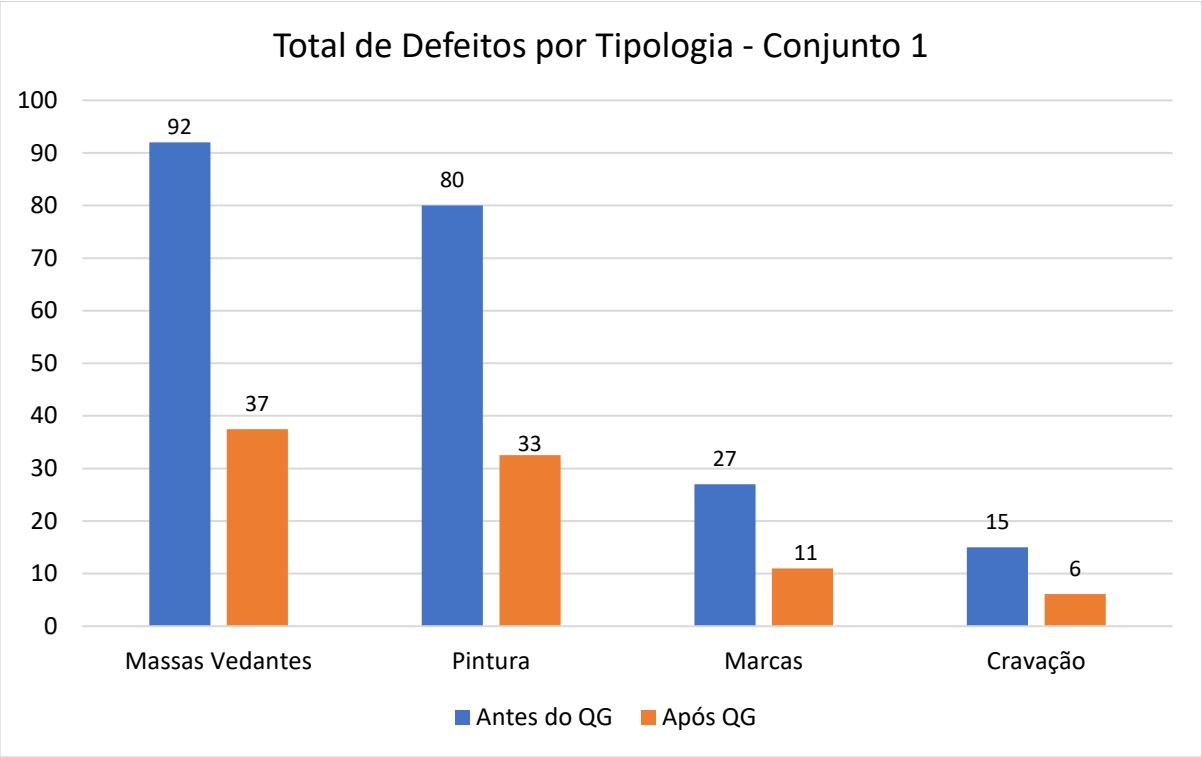

Gráfico 21 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 1 após quality gate [autor]

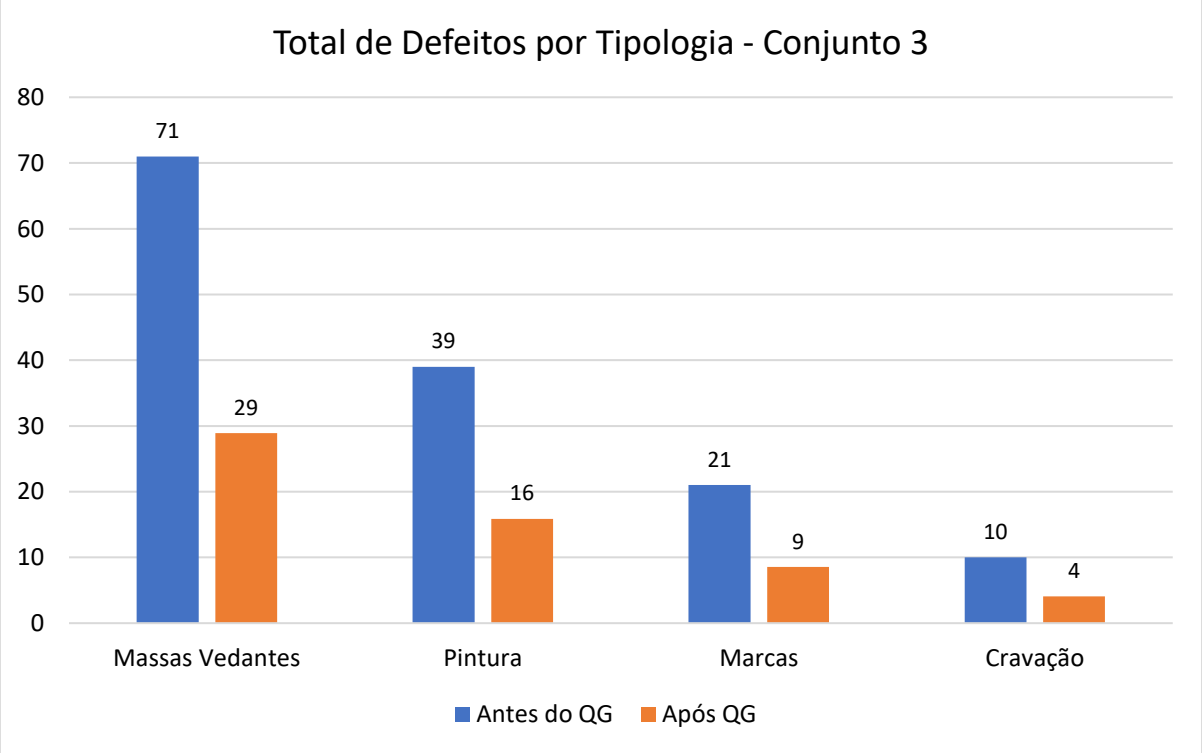

Gráfico 22 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 3 após quality gate [autor]

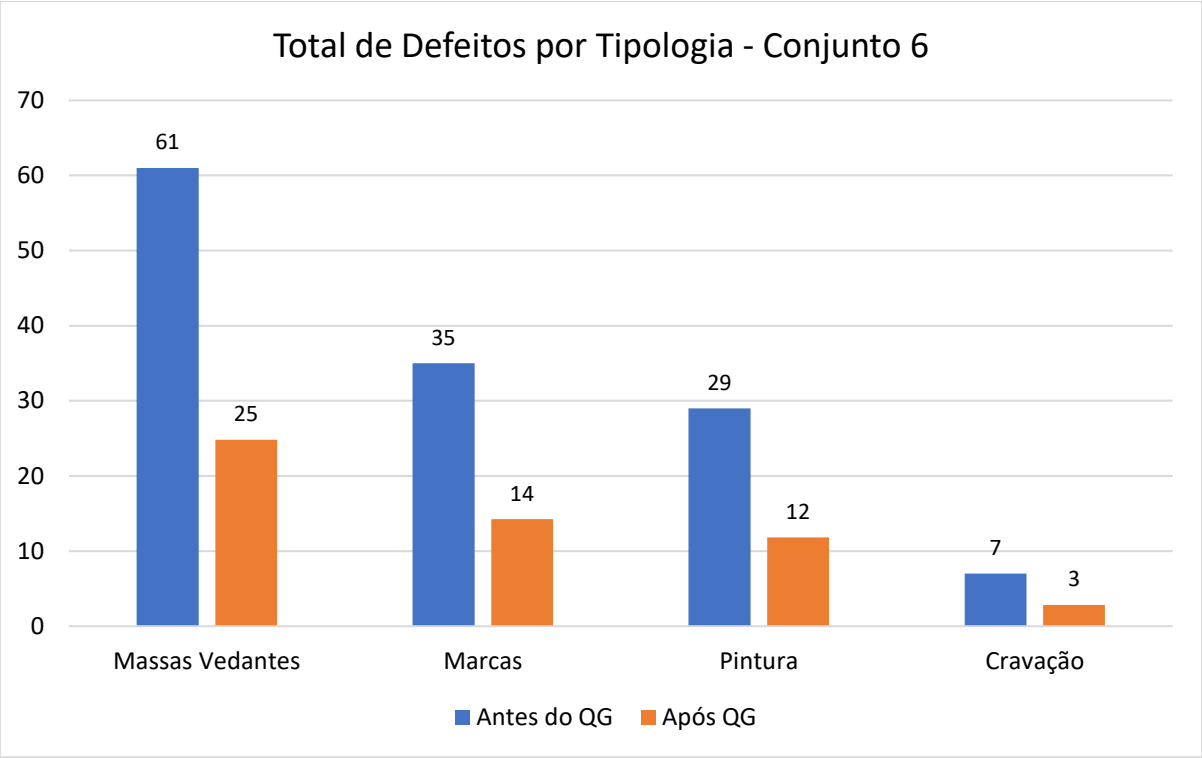

Gráfico 23 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 6 após quality gate [autor]

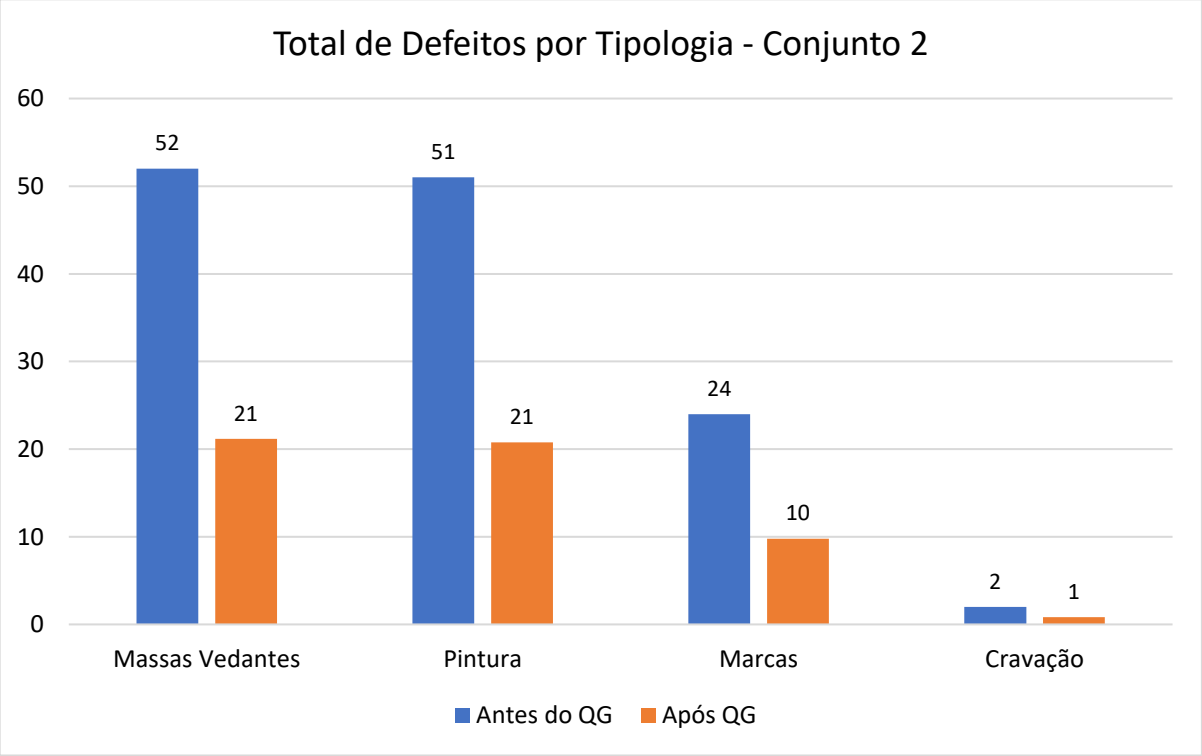

Gráfico 24 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 2 após quality gate [autor]

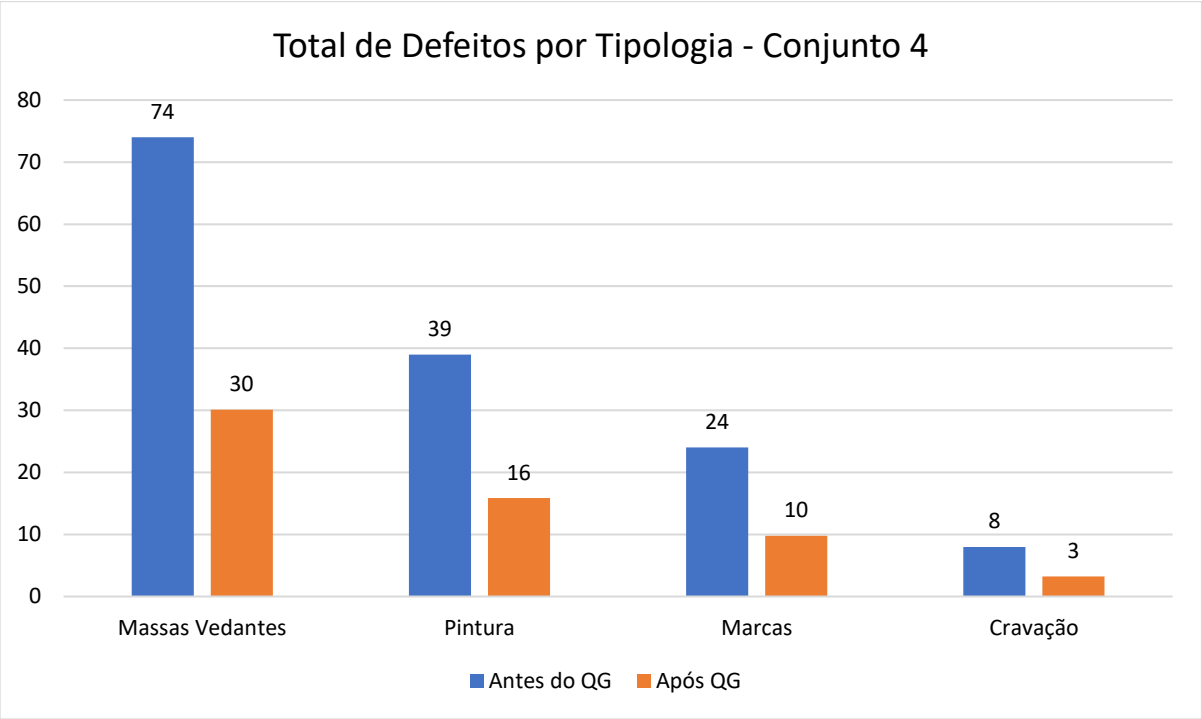

Gráfico 25 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 4 após quality gate [autor]

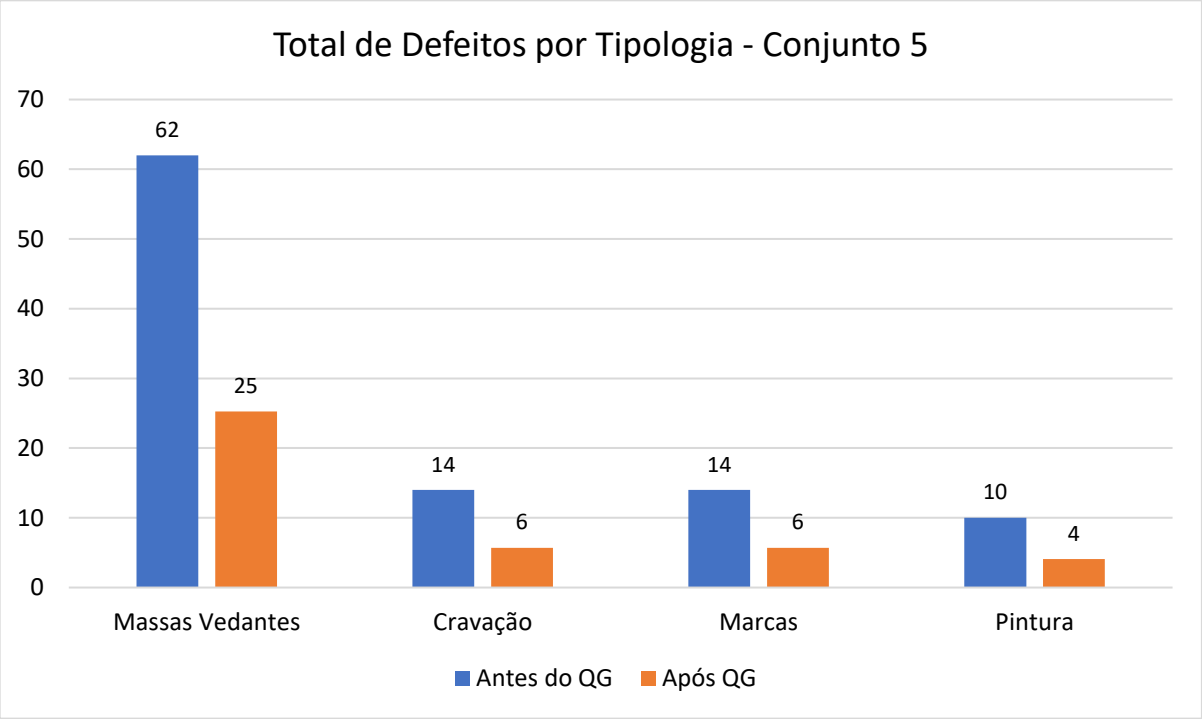

Gráfico 26 - Total de Defeitos por Tipologia – Conjunto 5 após quality gate [autor]

De seguida e por forma a ter-se uma visão de cada um dos dez *quality gates* implementados na linha produtiva, são apresentados os *KPI's* (indicadores utilizados para monitorizar os defeitos) que se encontram no quadro exemplificado na Figura 30, em cada conjunto ou em cada quality gate é visível dois gráficos por cada um.

O primeiro gráfico apresenta nas colunas azuis os defeitos detetados na inspeção intermédia, e nas colunas à laranja os defeitos encontra-nos na inspeção final para o mesmo elemento final e para o mesmo conjunto em observação.

O segundo gráfico segue a mesma a apresentação que o primeiro, no entanto, em vez do total de defeitos é apenas observável os defeitos selecionados no início que iam ser monitorizados, nomeadamente as massas vedantes, marcas e cravação. A pintura, tal como explicado anteriormente, foi seguido e monitorizado nos *quality gates* 9 e 10.

4.3.4.1. Quality Gate 1 – Conjunto 1

É possível verificar nos gráficos abaixo, que após a implementação dos QG os defeitos na inspeção final começaram a reduzir significativamente, neste caso houve uma redução de 27 defeitos face ao conjunto que não tinha o QG implementado ainda.

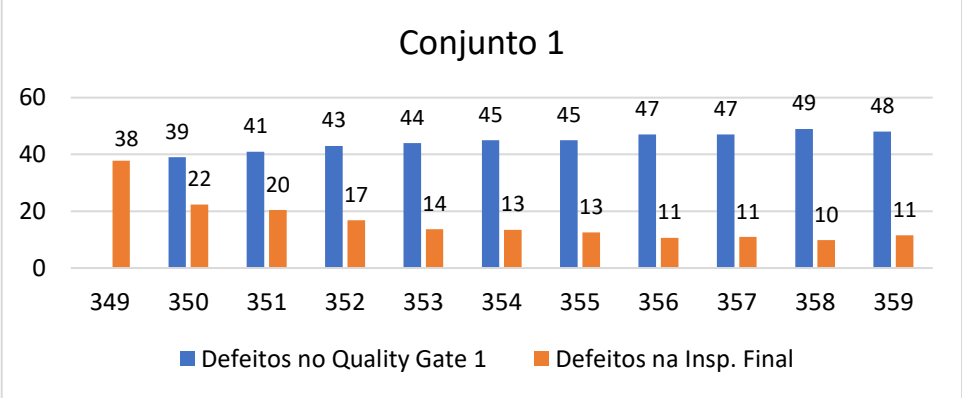

Gráfico 27 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final [autor]

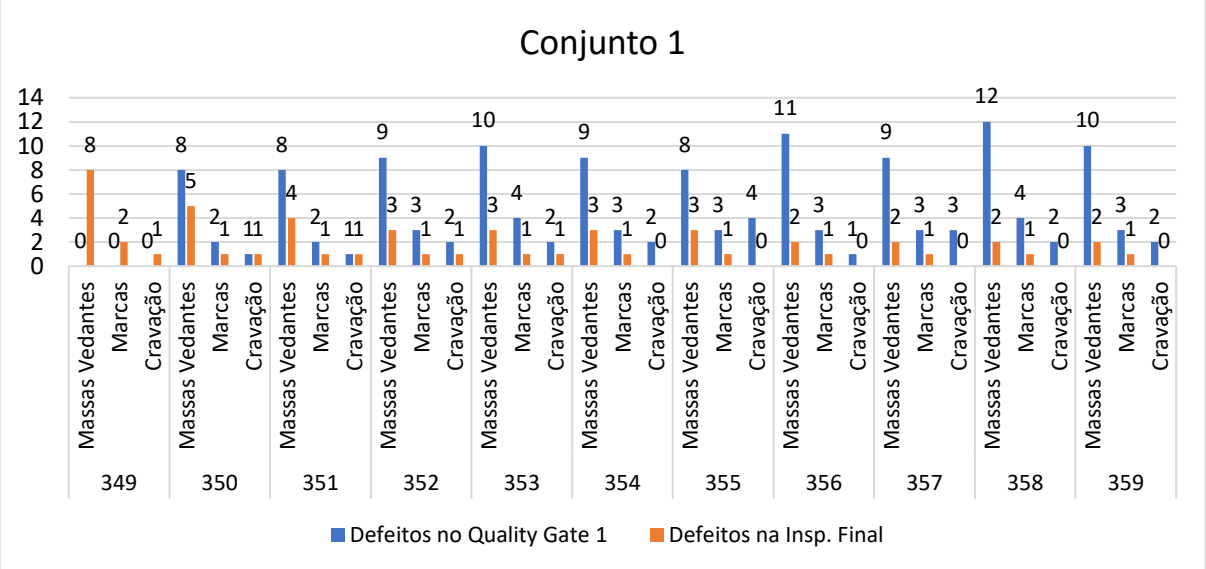

Gráfico 28 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final [autor]

4.3.4.2. Quality Gate 2 – Conjunto 2

É possível verificar nos gráficos abaixo, que após a implementação dos QG os defeitos na inspeção final começaram a reduzir significativamente, neste caso houve uma redução de 12 defeitos face ao conjunto que não tinha o QG implementado ainda.

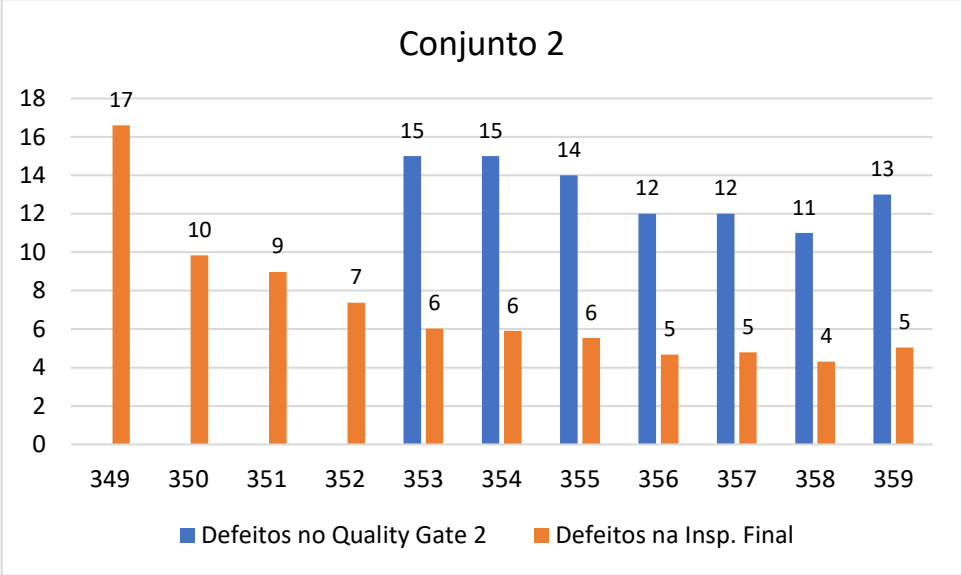

Gráfico 29 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final [autor]

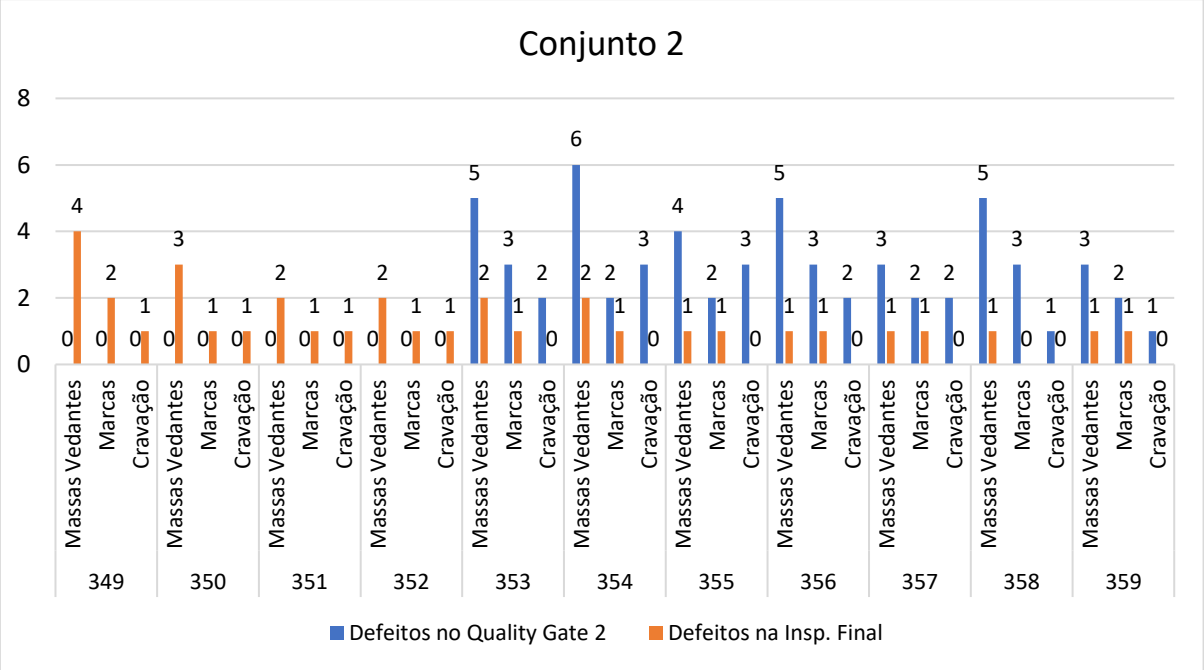

Gráfico 30 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final [autor]

4.3.4.3. Quality Gate 3 – Conjunto 3

É possível verificar nos gráficos abaixo, que após a implementação dos QG os defeitos na inspeção final começaram a reduzir significativamente, neste caso houve uma redução de 19 defeitos face ao conjunto que não tinha o QG implementado ainda.

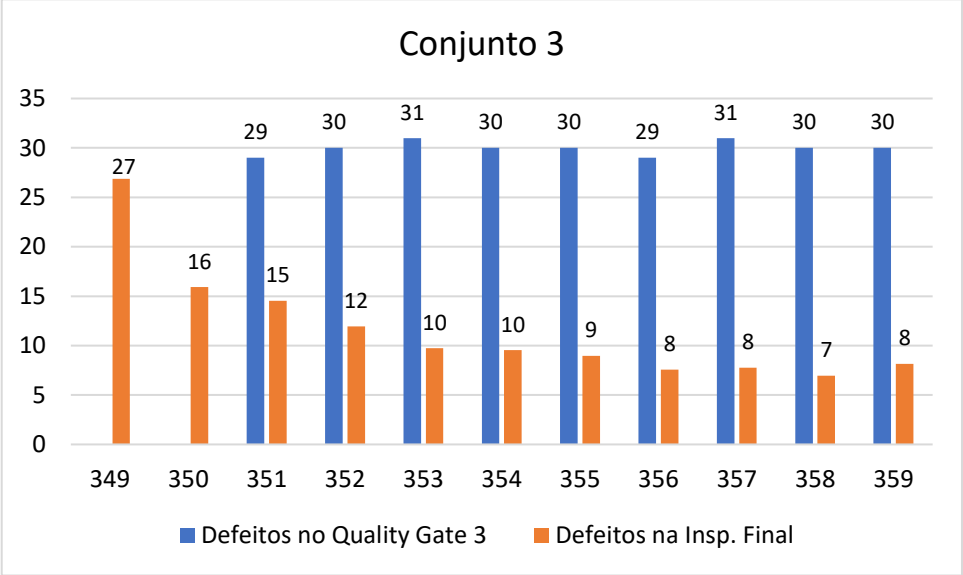

Gráfico 31 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final [autor]

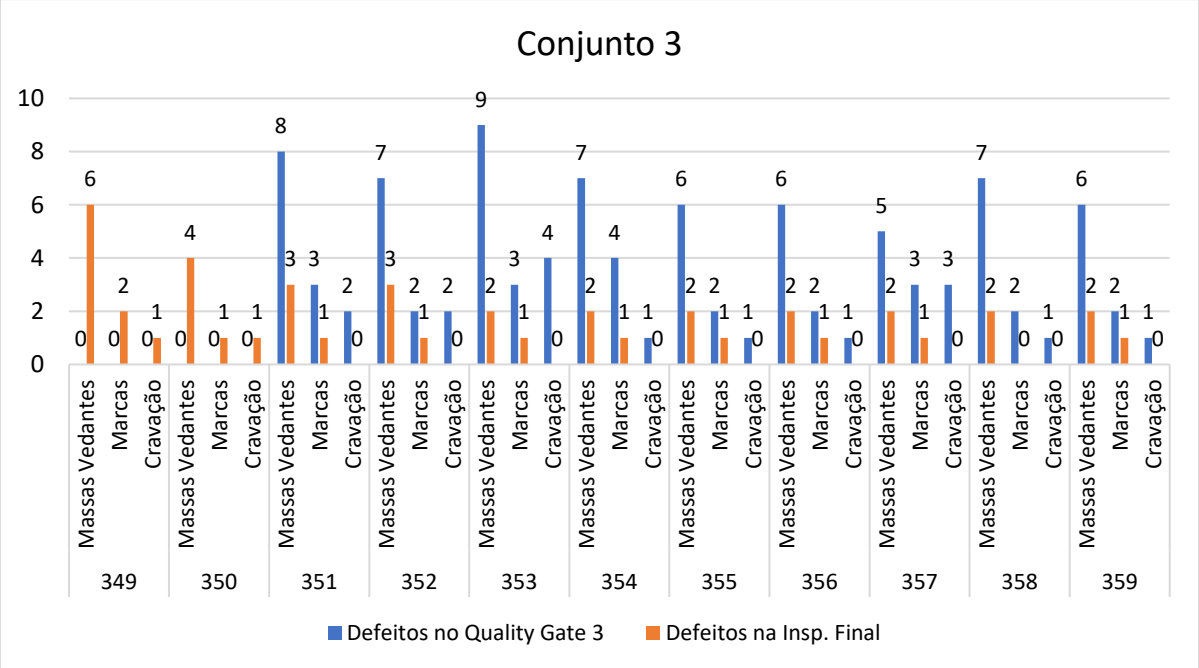

Gráfico 32 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final [autor]

4.3.4.4. Quality Gate 4 – Conjunto 4

É possível verificar nos gráficos abaixo, que após a implementação dos QG os defeitos na inspeção final começaram a reduzir significativamente, neste caso houve uma redução de 15 defeitos face ao conjunto que não tinha o QG implementado ainda.

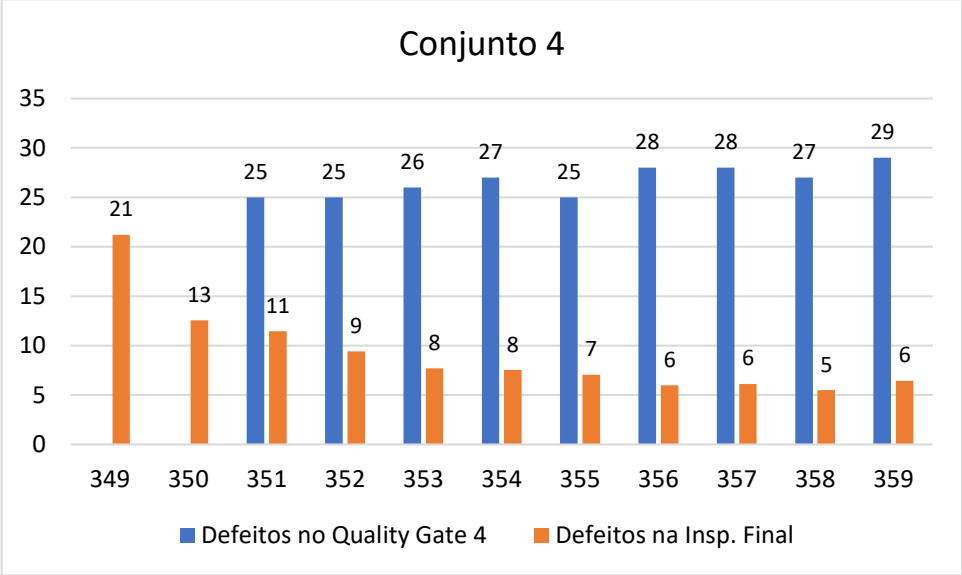

Gráfico 33 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final [autor]

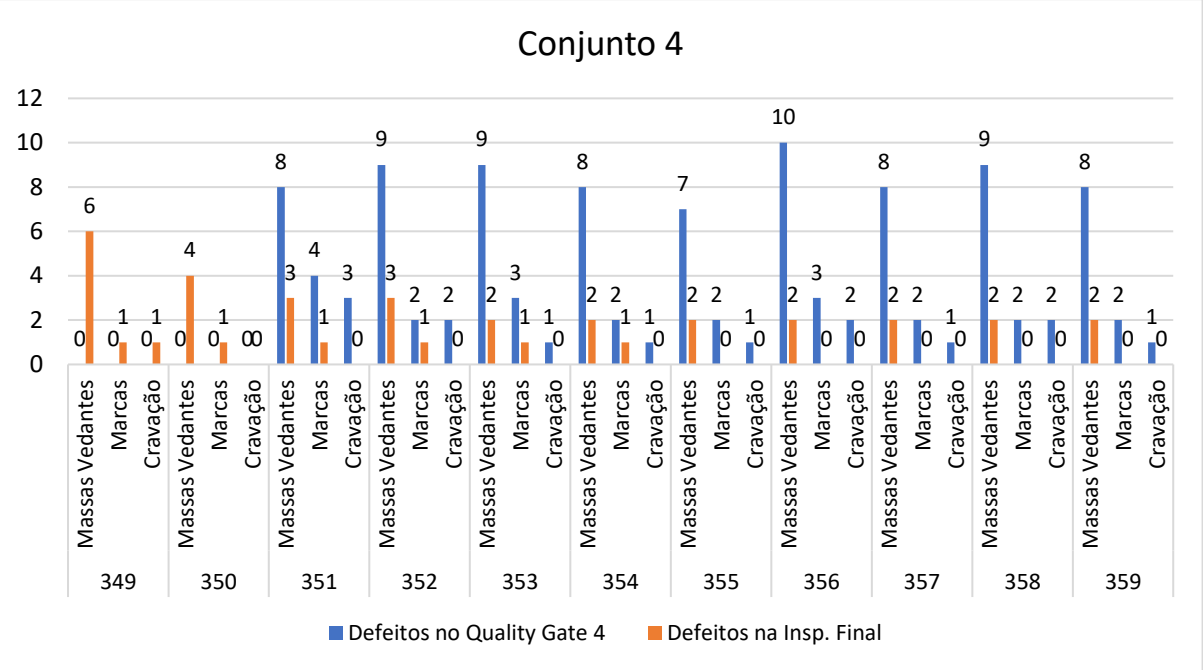

Gráfico 34 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final [autor]

4.3.4.5. Quality Gate 5 – Conjunto 5

É possível visualizar nos gráficos abaixo, que após a implementação dos QG os defeitos na inspeção final começaram a reduzir significativamente, neste caso houve uma redução de 10 defeitos face ao conjunto que não tinha o QG implementado ainda.

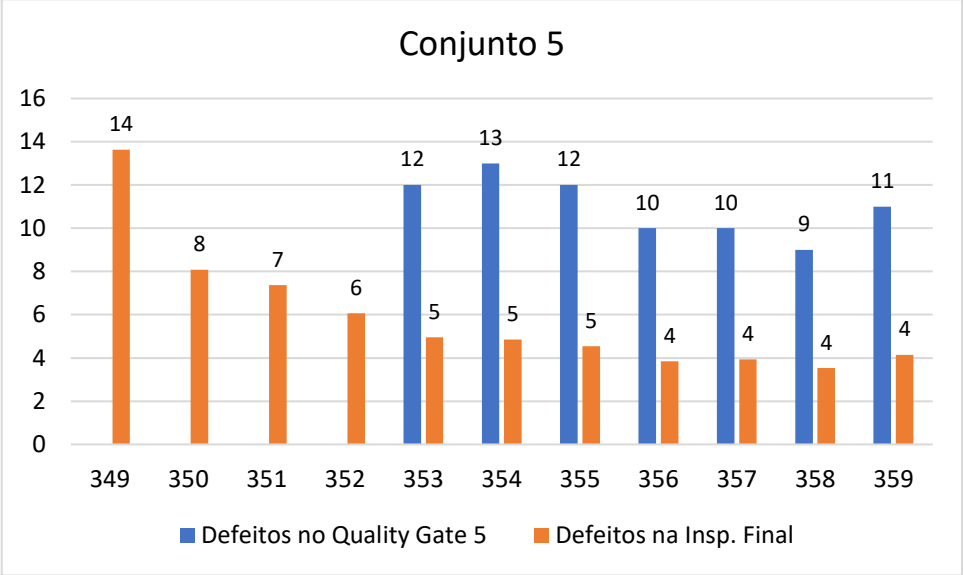

Gráfico 35 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final [autor]

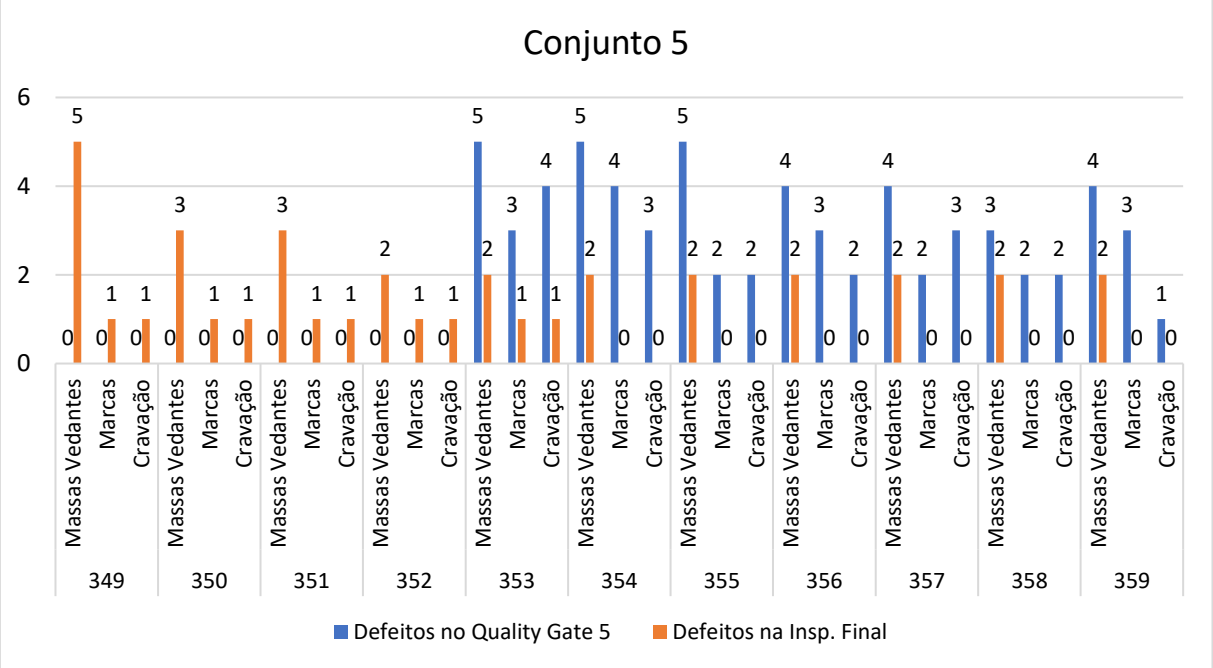

Gráfico 36 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final [autor]

4.3.4.6. Quality Gate 6 – Conjunto 6

É possível observar nos gráficos abaixo, que após a implementação dos QG os defeitos na inspeção final começaram a reduzir significativamente, neste caso houve uma redução de 13 defeitos face ao conjunto que não tinha o QG implementado ainda.

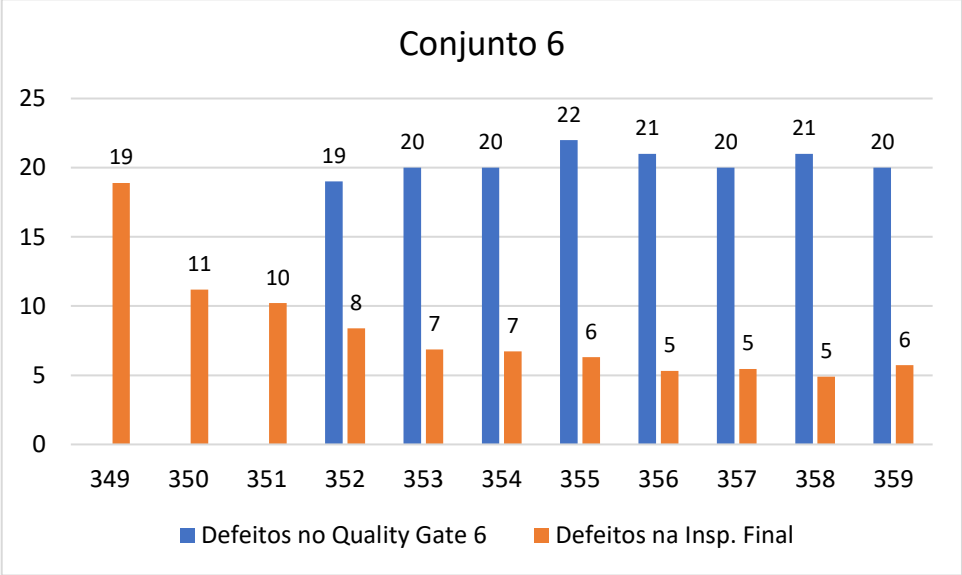

Gráfico 37 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final [autor]

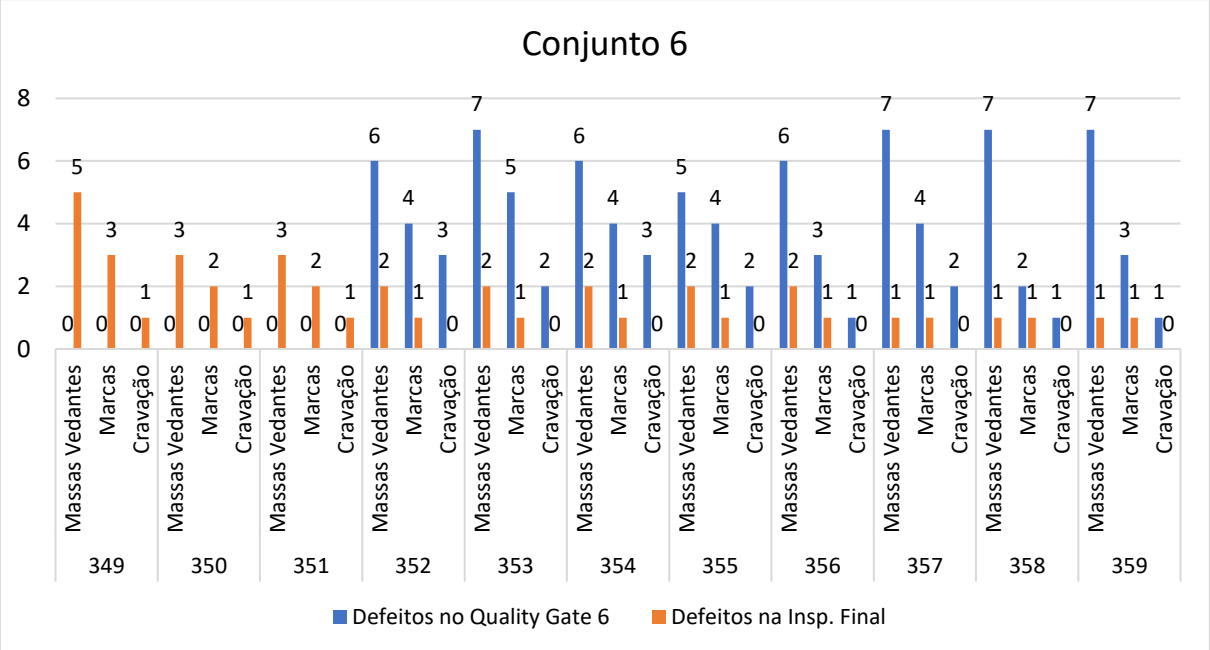

Gráfico 38 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final [autor]

4.3.4.7. Quality Gate 7 – Integração do Subconjunto 1

É possível observar nos gráficos abaixo, que após a implementação dos QG os defeitos na inspeção final começaram a reduzir significativamente, neste caso houve uma redução de 29 defeitos face ao conjunto que não tinha o QG implementado ainda.

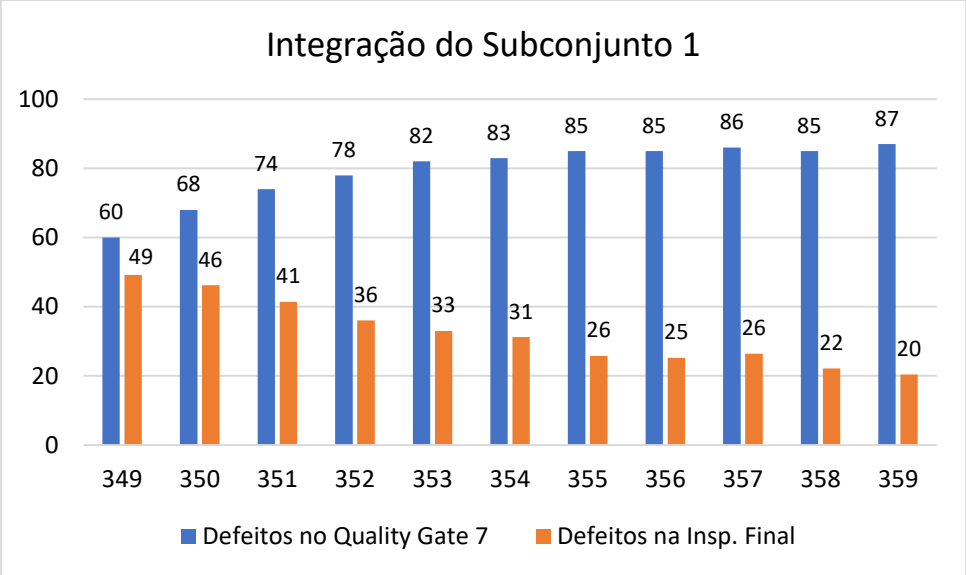

Gráfico 39 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final [autor]

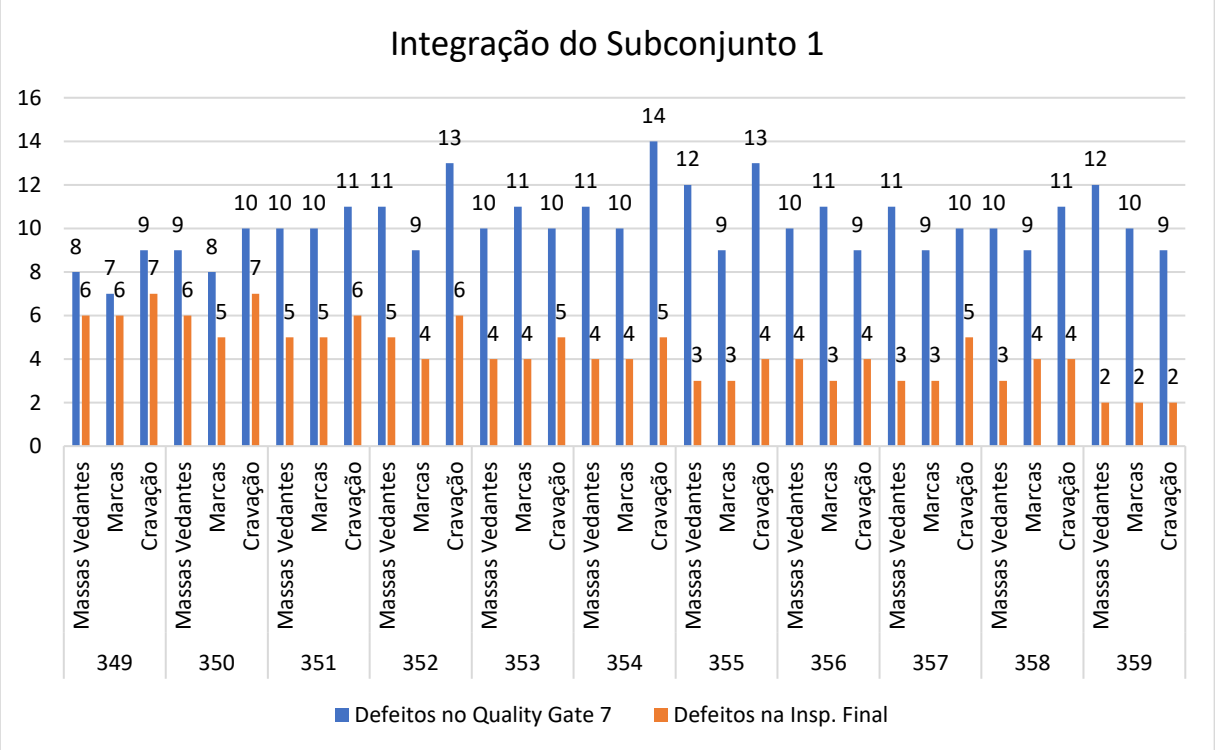

Gráfico 40 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final [autor]

4.3.4.8. Quality Gate 8 - Integração do Subconjunto 2

É possível observar nos gráficos abaixo, que após a implementação dos QG os defeitos na inspeção final começaram a reduzir significativamente, neste caso houve uma redução de 19 defeitos face ao conjunto que não tinha o QG implementado ainda.

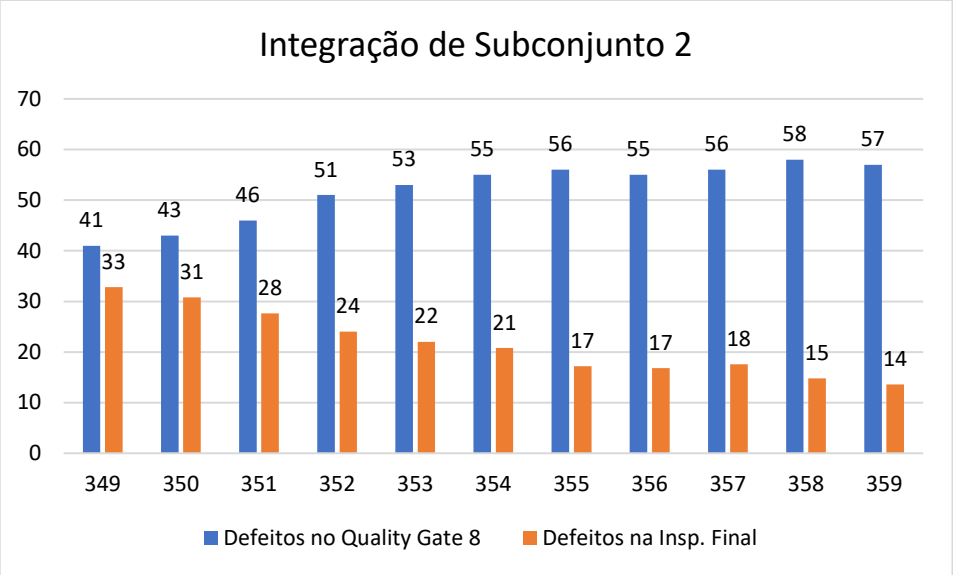

Gráfico 41 - Defeitos do Quality Gate vs Defeitos da Inspeção Final [autor]

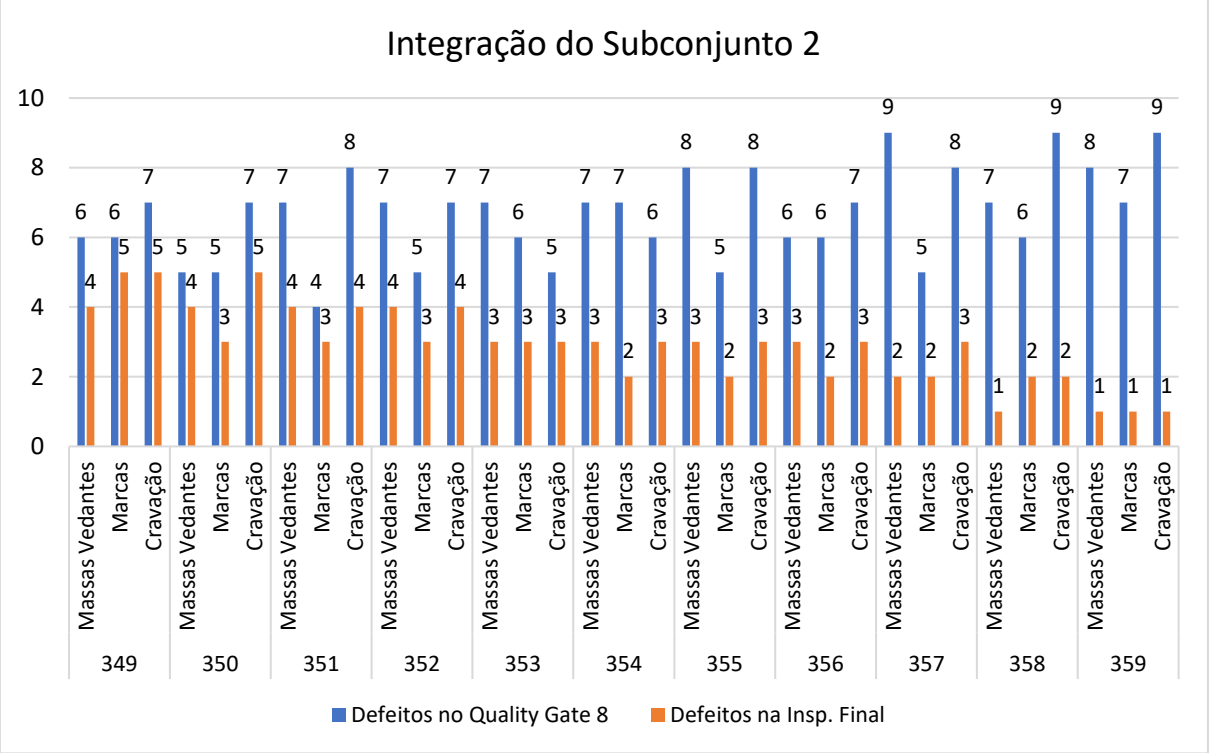

Gráfico 42 - Tipologia de defeitos do QG vs Tipologia de defeitos da Inspeção Final [autor]

4.3.4.9. Quality Gate 9 – Elemento 1 (Pintura)

É possível analisar nos gráficos abaixo, que após a implementação dos QG os defeitos na inspeção final começaram a reduzir significativamente, neste caso houve uma redução de 15 defeitos de pintura face ao conjunto que não tinha o QG implementado ainda.

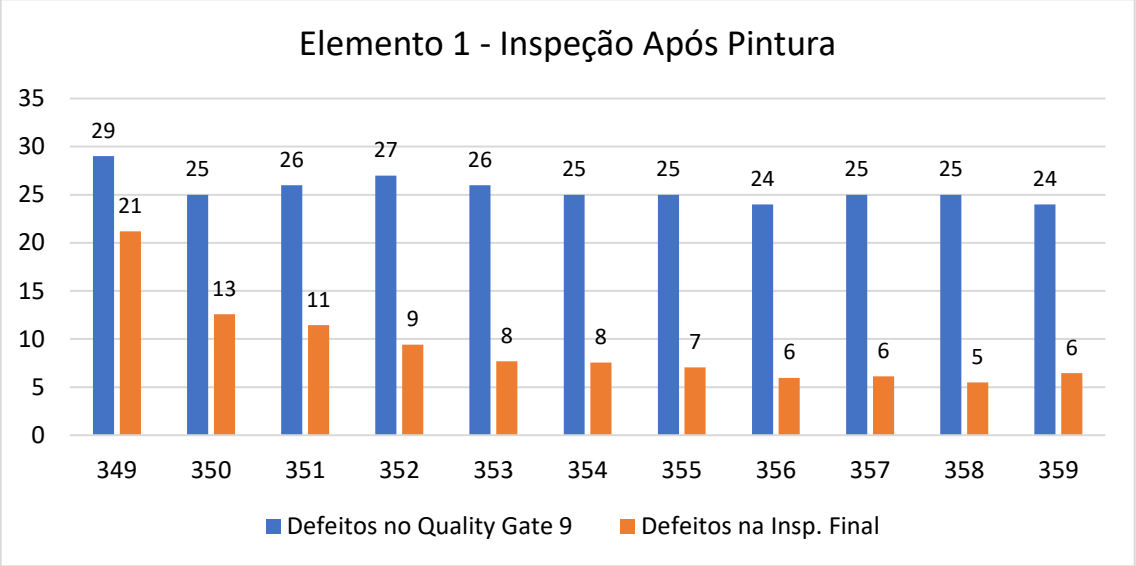

Gráfico 43 - Defeitos de pintura do QG vs Defeitos de pintura da Inspeção Final [autor]

4.3.4.10. Quality Gate 10 – Elemento 2 (Pintura)

É possível analisar nos gráficos abaixo, que após a implementação dos QG os defeitos na inspeção final começaram a reduzir significativamente, neste caso houve uma redução de 15 defeitos de pintura face ao conjunto que não tinha o QG implementado ainda.

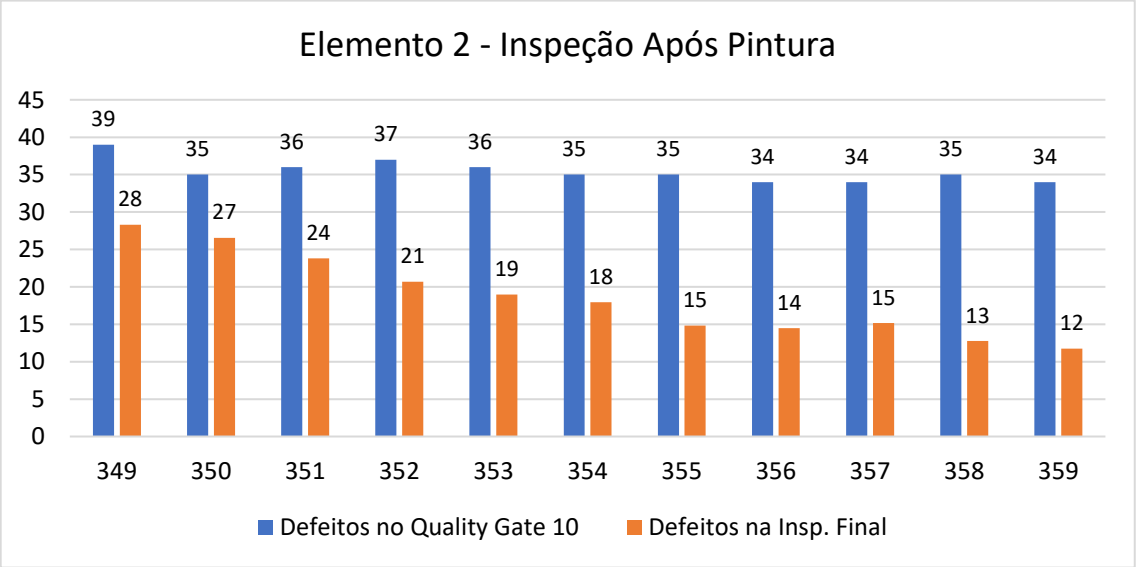

Gráfico 44 - Defeitos de pintura do QG vs Defeitos de pintura da Inspeção Final [autor]

5. Conclusões

O principal objetivo desta dissertação era desenvolver um modelo de suporte à melhoria da qualidade, nomeadamente, o desenvolvimento e implementação de *Quality Gates* numa linha de produção, que respondesse as questões *"O Porquê dos Quality Gates serem implementados numa fase especifica do processo de fabrico?" e "Que ferramentas de qualidade devem ser utilizadas em cada Quality Gate?"*.

O modelo desenvolvido pode ser considerado um excelente método para controlar os processos e gerir e reduzir as não-conformidades numa linha produtiva, e pode ser amplamente aplicado em diferente setores industriais devido a sua simplicidade de implementação.

A formação dos colaboradores, quer da produção quer os inspetores da qualidade, foi essencial, pois familiariza-os com os novos processos e aproxima-os mais da empresa. Foi possível constatar ainda ao longo do estudo que os operadores causam vários defeitos que importam custos à empresa, e nalguns casos custos elevados. A sensibilização dos colaboradores através do debate de ideias sobre alguns pontos problemáticos, a formação e o acompanhamento por parte da qualidade ao longo da linha contribuiu para uma diminuição significativa dos defeitos, a criação dos livros de trabalho (*check-lists)* permitiu também reduzir o tempo da inspeção e análise de dados.

Tendo em conta à quantidade de defeitos detetados na inspeção final e que estavam a ser reclamados pelo cliente, foi necessário traçar um objetivo ambicioso de se reduzir em 40% os defeitos na inspeção final para o elemento final e reduzir 50% dos defeitos detetados pelo cliente. Este objetivo não foi só alcançado, como foi também ultrapassado no elemento 2 em mais 8%. Ao nível das reclamações de cliente foi reduzido 60% no elemento 1 e 65% no elemento 2, superando assim em mais 10% e 15% o objetivo traçado.

Concluindo, a necessidade das empresas de se manterem competitivas no mercado faz com que as mesmas, cada vez mais, se preocupem em produzir mais, com mais qualidade que os concorrentes e com um custo mais reduzido. Para isso, pesquisam maneiras inovadoras para se destacarem no seu círculo competitivo. Assim, diante desta necessidade, os *quality gates* surgiram como uma resposta inovadora face à elevada quantidade de defeitos.

Para futuras pesquisas, seria interessante avaliar a informatização desta metodologia, para que os registos sejam automáticos, por exemplo em vez do registo em papel utilizar *tablets*, os seguimentos (*KPI's*) apresentem as informações *online* e ficando logo disponíveis todos os dados da inspeção para toda a organização.

Referências

[1] A. Srinivasan and B. Kurey, "Creating a Culture of Quality," *Harv. Bus. Rev.*, pp. 23–26, 2014.

[2] J. P. M. Salgado and Aplicação, "Aplicação do Controlo Estatístico do Processo numa Indústria Panificadora," Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2012.

[3] J. M. Juran and A. B. Godfrey, *Juran's Quality Control Handbook*, 5.ª Edição. New York: McGraw-Hill Companies, 1998.

[4] A. Santos-Olmo, L. E. Sánchez, D. G. Rosado, E. Fernández-Medina, and M. Piattini, "Applying the Action-Research Method to Develop a Methodology to Reduce the Installation and Maintenance Times of Information Security Management Systems," *Futur. Internet*, vol. 8, no. 3, pp. 1–24, 2016.

[5] A. Pinto, *ISO 9001:2015*, LIDEL. Lisboa: LIDEL, 2017.

[6] P. R. F. da Cruz, "QUALIDADE NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA: APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA EM UM SETOR DE MONTAGEM DE COMPONENTES DE MOTORES AERONÁUTICOS.," *XII Congr. Nac. Excel. em Gestão III INOVARSE 2016*, pp. 2–19, 2016.

[7] D. Straker, *A Toolbook for Quality Improvement and Problem Solving*. Prentice Hall, 1995.

[8] E. M. Elbashir, "Quality Management in Construction Projects," *PM World J.*, vol. VII, no. II, pp. 1–5, 2018.

[9] A. Realyvásquez-Vargas, K. Arredondo-Soto, T. Carrillo-Gutiérrez, and G. Ravelo, "Applying the Plan-Do-Check-Act (PDCA) Cycle to Reduce the Defects in the Manufacturing Industry. A Case Study," *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 11, p. 2181, 2018.

[10] J. Malek and D. Desai, "Reducing Rejection/Rework in Pressure Die Casting Process by Application of DMAIC Methodology of Six Sigma," *Int. J. Qual. Res.*, vol. 9, no. 4, pp. 577–604, 2015.

[11] M. G. Cleto and L. Quinteiro, "GESTÃO DE PROJETOS ATRAVÉS DO DMAIC: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA," *Rev. Produção Online*, vol. 11, no. 1, p. 210, 2010.

[12] M. M. de Carvalho and E. P. Paladini, *Gestão da Qualidade Teoria e Casos*, 2ª Edição. Elsevier Editora Ltda., 2013.

[13] D. Pavletic, M. Sokovic, and G. Paliska, “Practical Application of Quality Tools,” *Int. J. Qual. Res.*, vol. 2, no. 3, pp. 199–205, 2008.

[14] E. F. BARBOSA, “7 ferramentas do Controle de Qualidade. Gerência da Qualidade Total na Educação,” Fundação Christiano Ottoni. UFMG, Belo Horizonte., 2000.

[15] P. Mishra and R. K. Sharma, “A hybrid framework based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network,” *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 31, no. 5, pp. 522–546, 2014.

[16] R. H. Catini, F. J. P. de Souza, M. de F. M. Pinhel, and A. de O. Mendonça, “Application of indicators and quality index as a tool for critical analysis and continuous improvement of laboratories accredited against ISO / IEC 17025,” *Accredit. Qual. Assur.*, vol. 20, pp. 431–436, 2015.

[17] S. D. E. Garantia and D. A. Qualidade, “‘ Quality Gate ,’” 2000.

[18] A. S. L. M. Lourenço, “Acreditação de laboratórios: ferramentas da qualidade,” Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2011.

[19] B. F. E. Lins, “Ferramentas básicas da qualidade,” *Ciência da Informação*, pp. 153–161, 1993.

[20] F. Rossato, J. A. R. Boligon, and F. S. B. M. Medeiros, “Estratégias Para a Implantação Do Programa 5S Em Uma Cooperativa,” *Lat. Am. J. Bus. Manag.*, vol. 7, pp. 27–49, 2016.

[21] V. L. S. Cunha, “Melhoria Contínua do Sistema de Controle da Qualidade,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

[22] V. M. Magar and D. V. B. Shinde, “Application of 7 Quality Control (7 QC) Tools for Continuous Improvement of Manufacturing Processes,” *Int. J. Eng. Res. Gen. Sci.*, vol. 2, no. 4, pp. 364–371, 2014.

[23] D. Carinhas, C. Borges, and P. Infante, “Aplicação de cartas de controlo na monitorização de resultados de ensaios de comparação interlaboratorial,” *Actas das 4.as Jornadas de Engenharia Hidrográfca*, p. 7, 2016.

[24] I. A. L. Agostinho, “Aplicação do Controlo Estatístico do Processo numa Indústria de Derivados de Tomate,” Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2011.

[25] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition*, Sixth Edit. JOHN WILEY AND SONS LTD, 2009.

[26] A. Neto, Á. R. de C. Moreira, B. E. Pinheiro, J. da S. Gomes, L. de O. Otal, and M. N. Fragoso, “QUADRO 5W2H: UMA FERRAMENTA PARA DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PROJETO E DE SUAS VARIÁVEIS.” Instituto Superiores de Ensino do CENSA, 2016., pp. 23–30, 2016.

[27] A. C. G. da Silva, “MÉTODO FMEA: FERRAMENTA DE MELHORIA DA QUALIDADE, AMBIENTE E SEGURANÇA NUMA PME,” Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2016.

[28] J. da C. Ferreira, M. C. Rodrigues, L. S. Franciscato, and I. Correr, “Proposta de um método para priorização de risco em FMEA considerando custo de ocorrência do modo de falha em sua etapa de detecção,” *Exacta*, vol. 15, no. 3, pp. 487–499, 2017.

[29] D. H. Stamatis, *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*, 2nd Editio. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2003.

[30] J. Márcio and R. Fernandes, “Proposta de um Método para Integração entre QFD e FMEA,” *Gestão & Produção*, vol. v.13, no. n.2, p. p.245-259, 2006.

[31] Cândido Moura, “ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL (FMEA) - Manual de Referência.” Instituto de Qualidade Automotiva (IQA), 2000.

[32] R. G. Cooper, “Stage-Gate Systems : A New Tool for Managing New Products,” *Bus. Horiz.*, vol. 33, no. 3, pp. p44-54, 1990.

[33] J. Aaron, “Quality Gates : A PRIMMS Tutorial.” Milestone Planning & Research, Inc., p. 13, 2009.

[34] J. M. Aaron, C. P. Bratta, and D. P. Smith, “Achieving Total Project Quality Control Using The Quality Gate Method,” *PMI Annual Symposium*. 1993 Milestone Planning & Research, Inc, pp. 1–13, 1993.

[35] P. A. Parreira, “INOVAÇÃO EM PROCESSOS E GESTÃO DA QUALIDADE: Análise da Implantação Da Metodologia De WCM Na Case New Holland,” Fundação Pedro Leopoldo, 2014.

[36] J. Schnell and G. Reinhart, “Quality Management for Battery Production: A Quality Gate Concept,” *Procedia CIRP*, vol. 57, pp. 568–573, 2016.