

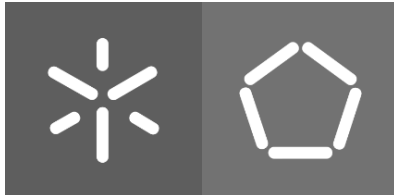


Definição e implementação de um projeto de melhoria numa empresa da indústria automóvel

Raquel Costa Vasco Chaves

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Raquel Costa Vasco Chaves

**Definição e implementação de um projeto de
melhoria numa empresa da indústria
automóvel**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Industrial

Ramo de Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Paulo Alexandre da Costa Araújo Sampaio

dezembro de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

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

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

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

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

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta dissertação contou com o contributo de diversas pessoas que, ao longo do meu percurso, se cruzaram comigo. Acredito que cada uma delas, ainda que de diferentes formas, ajudaram-me a crescer tanto a nível pessoal como profissional e, por isso, quero expressar a minha gratidão.

Em primeiro lugar, deixo o meu profundo agradecimento aos meus pais e irmãs pelo apoio incondicional, incentivo e por acreditarem sempre em mim.

Ao meu orientador por parte da Universidade do Minho, Professor Doutor Paulo Sampaio, pela orientação e disponibilidade demonstrada ao longo deste trabalho.

Ao meu orientador da empresa, Tiago Cepeda, pela confiança depositada em mim, suporte dado, simpatia e partilha de conhecimento.

Ao engenheiro Vítor Peixoto agradeço todos os desafios propostos e conhecimentos transmitidos.

À Daniela e ao Eduardo pela cooperação, troca de ideias e por estarem sempre disponíveis para tudo o que precisei.

Agradeço à empresa Aptiv por me ter permitido realizar o estágio curricular, bem como a todos os colaboradores com quem tive a oportunidade de me cruzar, em particular à equipa de *Customer Satisfaction* por me terem acolhido de forma exemplar.

Para finalizar, quero agradecer aos meus amigos por estarem sempre comigo e por me acompanharem ao longo destes anos.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

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

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

RESUMO

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado de Engenharia Industrial, no ramo de especialização Gestão Industrial, cujo tema consiste na definição e implementação de um projeto de melhoria numa empresa da indústria automóvel. Este projeto decorreu na Aptiv - *Advanced Safety and User Experience* – Portugal S.A., no departamento *Customer Satisfaction*, com o propósito de reduzir o número de componentes danificados e cumprir com os objetivos estratégicos da empresa. Numa primeira instância, realizou-se uma revisão da literatura com vista a expor o estado da arte que suporta todo o trabalho desenvolvido. A metodologia de investigação adotada ao longo desta dissertação foi a investigação-ação. No projeto de melhoria recorreu-se ao método DMAIC, da metodologia Seis Sigma, onde em cada uma das fases deste método foram aplicadas diversas ferramentas e técnicas de qualidade. Depois de identificadas as causas raiz de cada componente danificado, procedeu-se à sensibilização e consciencialização dos operadores para o correto manuseamento das placas e ainda à implementação de sistemas à prova de erros nos processos, de forma a torná-los mais robustos. Tendo subjacente o objetivo do projeto, concluiu-se que os resultados definidos inicialmente foram alcançados com sucesso. Destaca-se que foram reduzidos, em PPMs, 13% dos componentes danificados da empresa. De modo particular foi possível reduzir, em PPMs, 31% dos componentes danificados do produto A e 21% do produto B, face à situação inicial do projeto. Paralelamente, foi sugerido um novo *layout* para as bancadas de retrabalho de SMT, visto que estas demonstravam uma clara necessidade de serem repensadas, tendo em conta as verdadeiras necessidades dos técnicos que aqui executam as suas funções.

PALAVRAS-CHAVE

Componentes danificados; DMAIC; Melhoria contínua; Qualidade; Seis Sigma.

ABSTRACT

This dissertation was developed in the context of the Master of Industrial Engineering, in the field of specialization of Industrial Management, whose theme is the definition and implementation of an improvement project in a company in the automotive industry. This project took place at APTIV - Advanced Safety and User Experience – Portugal S.A., in the Customer Satisfaction Department, to reduce the number of damaged components and to achieve the company's strategic objectives. In the first instance a literature review was carried out to expose the state of the art that supports all the work developed. The research methodology adopted throughout this dissertation was action research. In the improvement project the DMAIC method of the Six Sigma methodology was used, where in each of the phases of this method several quality tools and techniques were applied. After identifying the root causes of each damaged component, error-proofing systems were implemented on the processes to make them more robust, and operators were sensitized and made aware of the correct handling of the board. Considering the project's objective it was concluded that the initially defined results, were successfully achieved. It is noteworthy that 13% of the PPM related to the company's damaged components were reduced. Furthermore, it was possible to reduce, in PPMs, 31% of the damaged components of product A and 21% of product B, when compared to the initial situation of the project. Subsequently, a new layout for the SMT repair benches was suggested, as they showed a clear need to be rethought, taking into account the real needs of the technicians who perform their functions here.

KEYWORDS

Continuous improvement; Damaged components; DMAIC; Quality; Six Sigma;

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvi
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	3
1.4 Estrutura da Dissertação	5
2 Revisão de Literatura	7
2.1 Seis Sigma.....	7
2.2 Seis Sigma: Perspetiva estatística	8
2.2.1 Capacidade do processo.....	10
2.3 Metodologia Resolução de Problemas: Ciclo DMAIC	11
2.3.1 Fase Definir	12
2.3.2 Fase Medir	13
2.3.3 Fase Analisar.....	15
2.3.4 Fase Melhorar	16
2.3.5 Fase Controlar.....	17
2.3.6 Síntese das ferramentas adotadas no ciclo DMAIC	17
2.4 Responsabilidade dos intervenientes na metodologia Seis Sigma	18
2.5 Fatores críticos para o sucesso de Projetos Seis Sigma.....	19

2.6	Síntese da revisão da literatura	20
3	Apresentação da Empresa	22
3.1	Empresa acolhedora do projeto: Aptiv.....	22
3.2	O grupo Aptiv	22
3.3	Aptiv Portugal.....	24
3.4	Aptiv Braga	24
3.4.1	Descrição do processo produtivo.....	26
4	Projeto Seis Sigma – Redução de componentes danificados	34
4.1	Definição do Projeto	34
4.2	Medição do projeto.....	48
4.2.1	Análise exploratória de dados.....	48
4.2.2	Conclusão da Fase Medir.....	59
4.3	Fase Analisar	60
4.3.1	Produto A: Componente R4510	61
4.3.2	Produto A: Componente D901	70
4.3.3	Produto A: Componente C324 e C325	73
4.3.4	Produto A: Componente D61	75
4.3.5	Produto A: Componente D23	76
4.3.6	Produto B: Componente L28	82
4.3.7	Produto B: Componente L20	85
4.3.8	Conclusão da fase de Analisar	86
4.4	Fase Melhorar	88
4.5	Fase Controlar	97
4.6	Síntese do capítulo	108
5	Bancadas de retrabalho de SMT.....	110
5.1	Descrição e análise da situação atual	110

5.2	Definição das propostas de melhoria	111
5.3	Conclusão e resultados esperados.....	112
5.4	Síntese de capítulo	113
6	Conclusões	114
6.1	Conclusões do projeto	114
6.2	Limitações do estudo	116
6.3	Trabalho Futuro	117
	Referências Bibliográficas	118
	Apêndice 1 – Análise às placas danificadas	122
	Apêndice 2 – Análise de componentes danificados por processo	123
	Apêndice 3 – Plano de Ação	128
	Apêndice 4 – <i>Quality alert</i> Sistema de Limpeza	130
	Apêndice 5 – <i>Quality alert</i> Singulação	131
	Apêndice 6 – <i>Quality alert</i> MOL.....	132
	Apêndice 7 – <i>Quality alert Coating</i>	133
	Apêndice 8 – Instrução de trabalho para o manuseamento de tabuleiros.....	134
	Apêndice 9 – Apresentação <i>rework station layout</i>	137
	Apêndice 10 – Custos inerentes à alteração das bancadas.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – <i>"Research onion"</i>	3
Figura 2 – Distribuição normal centrada no valor médio, μ	8
Figura 3 – Distribuição normal com média desviada $\pm 1,5\sigma$ do valor alvo, μ	10
Figura 4 – Ciclo DMAIC.	12
Figura 5 – DMAIC: Fase Definir.....	12
Figura 6 – DMAIC: Fase Medir.	14
Figura 7 – DMAIC: Fase Analisar.	15
Figura 8 – DMAIC: Fase Melhorar.	17
Figura 9 – DMAIC: Fase Controlar.....	17
Figura 10 – Principais ferramentas do ciclo DMAIC.	17
Figura 11 – Localização dos centros técnicos, centros R&D e fábricas.	23
Figura 12 – Valores da Aptiv.	23
Figura 13 – Aptiv em Portugal.	24
Figura 14 – <i>Portfólio</i> de produtos da APTIV.	25
Figura 15 – Marcos históricos da Aptiv em Braga.....	25
Figura 16 – Planta Aptiv Braga.	26
Figura 17 – <i>Layout</i> dos principais processos no edifício 1.	27
Figura 18 – Principais processos da secção SMT.	28
Figura 19 – Processo produtivo da secção CBA.	29
Figura 20 – Processo produtivo da secção Montagem Final.....	30
Figura 21 – <i>Layout</i> edifício 2.	30
Figura 22 – <i>Layout</i> área produtiva dos componentes plásticos.	31
Figura 23 – <i>Process Map</i> da placa <i>Power</i> e Eletrónica.	33
Figura 24 – Evolução dos componentes danificados, em PPM.....	35
Figura 25 – Definição do objetivo do projeto.....	36
Figura 26 – Componentes danificados, em PPMs, por família de produto.....	37
Figura 27 – Evolução dos componentes danificados, do produto A, ao longo de 2020.	38
Figura 28 – Evolução dos componentes danificados, do produto B, ao longo de 2020.....	38
Figura 29 – Definição do objetivo para os produtos A e B.	39

Figura 30 – <i>Project Charter</i>	41
Figura 31 – Ferramenta <i>Production & Yield Monitoring System</i>	42
Figura 32 – Informações obtidas através da ferramenta PYMS.	42
Figura 33 – Placa Eletrónica e RSC, dos produtos A e B, respetivamente.	43
Figura 34 – Fluxograma do produto A.	44
Figura 35 – Fluxograma do produto B.	46
Figura 36 – Principais componentes danificados.	49
Figura 37 – Diagrama de concentração de defeitos da Placa Eletrónica.	50
Figura 38 – Diagrama de concentração de defeitos da Placa RSC.	51
Figura 39 – Detecção do componente R4510.	51
Figura 40 – Análise crítica do <i>process map</i> do produto A, para o componente R4510.	52
Figura 41 – Direção de embate do componente R4510.	52
Figura 42 – Detecção do componente D901.	53
Figura 43 – Análise crítica do <i>process map</i> do produto A, para o componente D901.	53
Figura 44 – Direção de embate do componente D901.	54
Figura 45 – Detecção dos componentes C324 e C325, respetivamente.	54
Figura 46 – Análise crítica do <i>process map</i> do produto A, para os componentes C324 e C325.	54
Figura 47 – Detecção do componente D61.	55
Figura 48 – Análise crítica do <i>process map</i> do produto A, para o componente D61.	55
Figura 49 – Direção de embate do componente D61.	56
Figura 50 – Detecção do componente D23.	56
Figura 51 – Análise crítica do <i>process map</i> do produto A, para o componente D23.	57
Figura 52 – Direção de embate do componente D23.	57
Figura 53 – Detecção do componente L28.	58
Figura 54 – Análise crítica do <i>process map</i> do produto B, para o componente L28.	58
Figura 55 – Detecção do componente L20.	59
Figura 56 – Análise crítica do <i>process map</i> do produto B, para o componente L20.	59
Figura 57 – FTA para o componente R4510 danificado.	62
Figura 58 – Correto e incorreto posicionamento do <i>container</i> , respetivamente.	63
Figura 59 – Exemplificação da situação em que o <i>container</i> está afastado da porta do <i>unloader</i> de SMT.	64
Figura 60 – Marcas de desgaste nos amortecedores e pegas do equipamento ICT, respetivamente. ...	64

Figura 61 – Identificação dos pinos pré-posicionadores com arestas perigosas.	65
Figura 62 – Divisória central do equipamento MOL.	66
Figura 63 – Identificação do FTQ de cada MOL.	66
Figura 64 – Colisão da placa Eletrónica com a paleta do equipamento PCB <i>Cleaning</i>	67
Figura 65 – Colisão da placa Eletrónica com a lateral do equipamento PCB <i>Cleaning</i>	68
Figura 66 – Colisão da placa Eletrónica com o pino central da paleta de <i>Coating</i>	68
Figura 67 – Exemplificação do posicionamento correto e incorreto da caixa e do tabuleiro, em <i>Singulation</i> , respetivamente.	69
Figura 68 – Identificação da chapa metálica da rampa existente no processo <i>Singulation</i>	70
Figura 69 – Identificação das superfícies, do equipamento <i>Singulation</i> , mal protegidas.	70
Figura 70 – FTA para o componente D901 danificado.	71
Figura 71 – Colisão da placa Eletrónica com a lateral da gaveta do equipamento <i>Press-Fit</i>	72
Figura 72 – FTA para o componente C324 e C325 danificado.	73
Figura 73 – Identificação do componente C324 na base do ICT.	74
Figura 74 – Localização do pino, na base de ICT.	74
Figura 75 – FTA para o componente D61 danificado.	75
Figura 76 – FTA para o componente D23 danificado.	77
Figura 77 – Localização dos pinos superiores na base de ICT.	78
Figura 78 – Localização do componente D23.	79
Figura 79 – Colisão da placa Eletrónica com o pino de pré-posicionamento do equipamento <i>Press-Fit</i>	79
Figura 80 – Colisão do tabuleiro superior com o inferior.	80
Figura 81 – Identificação do local, no tabuleiro, onde o componente D23 é danificado.	80
Figura 82 – Diagrama de Ishikawa para o componente L28 danificado.	83
Figura 83 – Identificação dos processos onde a colocação do PCB nos containers é feita manualmente.	84
Figura 84 – Representação do incorreto posicionamento dos PCBs à saída da máquina.	85
Figura 85 – 5 <i>Why</i> para o componente L20 danificado.	85
Figura 86 – Localização do componente L20 e da mola do caixilho no posto ASCW, respetivamente.	86
Figura 87 – Síntese da matriz esforço vs impacto.	90
Figura 88 – Antes e depois da alteração do sensor do <i>unloader</i>	91
Figura 89 – Depois da implementação de um suporte para fixar os <i>containers</i>	91

Figura 90 – Antes e depois da alteração do formato das pegas de ICT.	92
Figura 91 – Antes e depois da substituição dos pinos de MOL.....	92
Figura 92 – Implementação de <i>Quality Alerts</i> nos processos PCB <i>Cleaning</i> , <i>Coating</i> , MOL e <i>Singulation</i> , respetivamente.....	93
Figura 93 – Antes e depois do corte parcial da divisória central das bases de MOL.....	93
Figura 94 – Antes e depois da reconfiguração do sistema das bases de MOL.	94
Figura 95 – Antes e depois da alteração da paleta de PCB <i>Cleaning</i>	94
Figura 96 – Antes e depois da colocação de uma borracha protetora nas superfícies mal protegidas da Singuladora.	94
Figura 97 – Antes e depois da alteração das laterais da gaveta do equipamento <i>Press-Fit</i>	95
Figura 98 – Antes e depois da redução do tamanho do pino.	95
Figura 99 – Antes e depois da remoção da placa do rato.	96
Figura 100 – Antes e depois da substituição de um pino no equipamento <i>Press-Fit</i>	96
Figura 101 – Protótipo das máscaras para as rampas de ICT.....	96
Figura 102 – Antes e depois da colocação de uma régua nas laterais dos <i>containers</i>	97
Figura 103 – Antes e depois da implementação de uma chapa na base do equipamento ASCW.	97
Figura 104 – Evolução dos componentes danificados, em PPMs.	98
Figura 105 – Evolução dos componentes danificados, do produto A, em PPMs.	99
Figura 106 – Valor monetário dos componentes danificados do produto A (€).	99
Figura 107 – Evolução dos componentes danificados, do produto B, em PPMs.	100
Figura 108 – Valor monetário dos componentes danificados do produto B (€).	100
Figura 109 – Evolução do componente danificado R4510, em ICT e FT, e as suas respetivas ações de melhoria.....	101
Figura 110 – Evolução do componente danificado D901, em ICT e FT, e as suas respetivas ações de melhoria.....	102
Figura 111 – Evolução dos componentes danificados C324 e C325, em ICT, e as suas respetivas ações de melhoria.	102
Figura 112 – Evolução do componente danificado D61, em FT, e as suas respetivas ações de melhoria.	103
Figura 113 – Evolução do componente danificado D23, em ICT e FT, e as suas respetivas ações de melhoria.....	103

Figura 114 – Evolução do componente danificado L28, em ICT e FT, e as suas respetivas ações de melhoria.....	104
Figura 115 – Evolução do componente danificado L20, em FT, e as suas respetivas ações de melhoria.	104
Figura 116 – Situação atual das bancadas de retrabalho de SMT.....	111
Figura 117 – Proposta final das bancadas de retrabalho de SMT.....	112

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Nível Sigma como percentagem de variação e defeitos por milhão por partes.....	8
Tabela 2 – Identificação das potenciais áreas críticas que danificam os componentes em estudo.	60
Tabela 3 – Análise de risco do transporte das placas em tabuleiros.....	81
Tabela 4 – Síntese das causas raiz associadas a cada componente danificado.....	87
Tabela 5 – Resumo da causa raiz e respetivas ações corretivas.	88
Tabela 6 – Síntese do impacto de cada ação, para cada componente.	105
Tabela 7 – Plano de ação para a sustentação dos ganhos.....	108

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AOI	<i>Automatic Optical Inspection</i>
ASCW	<i>Assembly Screwing</i>
AVI	<i>Automatic Visual Inspection</i>
CBA	<i>Circuit Board Assembly</i>
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CMI	<i>Customer Mechanic Interface</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve and Control</i>
DPMO	Defeitos Por Milhão de Oportunidades
FA	<i>Final Assembly</i>
FIS	<i>Factory Information System</i>
FT	<i>Final Test</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
FTQ	<i>First Time Quality</i>
GQE	<i>Gemba Quality Engineer</i>
IC	<i>Integrated Circuit</i>
ICT	<i>In Circuit Test</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KPI	<i>Key Process Indicators</i>
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSE	Limite Superior de Especificação
MMX	<i>Multi-Mediaboard eXtension</i>
MOL	<i>Middle of line Tester</i>
MSA	<i>Measurement System Analysis</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
OpEx	<i>Operational Excellence</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PF	<i>Press-Fit</i>
PPM	Partes Por Milhão
PYMS	<i>Production Yield Monitoring System</i>
QRC	<i>Quick Response Code</i>
SMT	<i>Surface Mount Technology</i>

SPI	<i>Solder Past Inspection</i>
TCA	<i>Test Coverage Analysis</i>
US	<i>United States</i>

1 INTRODUÇÃO

O presente projeto de dissertação insere-se no âmbito de Mestrado em Engenharia Industrial da Universidade do Minho, realizado na AptivPort Services S.A.. Este projeto encontra-se direcionado para a melhoria dos processos produtivos, com o principal objetivo de mitigar o aparecimento de defeitos. Este capítulo pretende oferecer uma visão geral do enquadramento temático, dos objetivos, da metodologia de investigação adotada e da estrutura do documento.

1.1 Enquadramento

Atualmente, a indústria automóvel enfrenta vários desafios, nomeadamente a nível tecnológico, económico e ambiental. Esta pressão surge devido à crescente procura e exigência dos clientes o que, consequentemente, obriga a que as organizações deste setor melhorem continuamente o seu desempenho (Geffen & Rothenberg, 2000).

O aparecimento da pandemia da Covid-19 veio alterar consideravelmente a forma como se vive e trabalha, perturbando indústrias inteiras, incluindo a indústria automóvel. Em 2019, foram vendidos globalmente 90 milhões de novos veículos particulares. Este número foi impulsionado principalmente pelo mercado da China, agora o maior mercado automóvel do mundo. Como consequência da pandemia, no primeiro semestre de 2020, a economia global diminuiu significativamente, a indústria automóvel desacelerou e as vendas de veículos novos reduziu drasticamente. A quebra de confiança do consumidor em todo o mundo foi considerada uma das razões plausíveis para este declínio do mercado, levando a que alguns fabricantes diminuíssem o seu volume de vendas em mais de 80% das vendas, entre março e maio de 2020 (Trovao, 2020).

Esta situação veio agravar os cenários de incerteza, promovendo flutuações de procura e dificuldades em cumprir com os prazos de entrega preestabelecidos. Face à situação adversa e para garantirem a sua posição no mercado, as empresas são então forçadas a implementar novas estratégias para se manterem atualizadas e competitivas (Andersson & Bellgran, 2015).

Simultaneamente, e apesar dos diversos desafios inerentes à indústria 4.0, a transformação digital no setor automóvel permitiu que várias empresas usufruíssem da tecnologia para acelerar a sua produção e melhorar a qualidade dos produtos, tornando-se assim mais resilientes (Dutt *et al.*, 2020).

Também as funcionalidades e características dos automóveis tornaram-se cada vez mais complexas e, à medida que são implementados sistemas de alta tecnologia nos veículos modernos, pequenas falhas eletrônicas podem facilmente originar problemas no automóvel (Bebeteidoh & Takim, 2015). Como consequência do aumento da sofisticação dos veículos em escala global, as empresas devem enfrentar os problemas e desenvolver soluções eficientes, com a maior brevidade possível, para não comprometer a segurança e expectativas dos utilizadores. Assim, é imperioso que as empresas do setor automóvel direcionem esforços para a eliminação de defeitos na fabricação dos seus produtos, uma vez que para além de responderem às expectativas dos clientes, conseguem, a longo-prazo, economizar dinheiro (Bebeteidoh & Takim, 2015).

De forma a melhorar a eficácia e eficiência operacional das organizações, muitas empresas adotam a metodologia Seis Sigma (Mast, 2006). Atualmente, o Seis Sigma é conhecido como uma abordagem de gestão sustentada em dados e análises estatísticas que permitem avaliar a eficiência de um negócio e melhorá-lo, através do método DMAIC (Ifrim *et al.*, 2020). A implementação sistemática e disciplinada do ciclo DMAIC possibilita a eliminação de processos ineficientes, prevenção de defeitos, promove a melhoria contínua, converte os resultados em lucratividade sustentável e, por conseguinte, assegura a fidelização e satisfação dos clientes.

Nesta perspetiva, foi desenvolvido na Aptiv, em Braga, um projeto de investigação com o objetivo de definir e implementar um projeto de melhoria numa empresa da indústria automóvel. Esta empresa multinacional, do ramo automóvel, é especializada na produção de peças plásticas, placas eletrónicas e montagem final de autorrádios, sistemas de navegação e *displays*. Caracterizada pelo comprometimento em atingir a excelência, foi implementado um projeto Seis Sigma, com o propósito de contribuir para a redução de componentes danificados detetados nos *quality gates* da empresa.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste projeto consiste em definir e implementar um projeto de melhoria numa empresa da indústria automóvel, com o intuito de reduzir o aparecimento de componentes danificados, detetados nos *quality gates* da empresa AptivPort Services S.A.. Recorrendo à aplicação da metodologia Seis Sigma, espera-se que o projeto fomente a implementação de melhorias nos processos produtivos, aumente a quantidade de unidades produzidas bem à primeira vez e reduza os custos de não qualidade.

Neste sentido, para apoiar o desenvolvimento do projeto foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Identificar problemas na produção a partir de *Key Process Indicators* (KPIs) definidos;

- Seleção e descrição dos principais problemas identificados;
- Analisar os dados dos processos com recurso a ferramentas informáticas e de qualidade, de modo a identificar as causas raiz dos problemas;
- Implementar ações corretivas com base em metodologias de *problem solving*;
- Efetuar a monitorização do impacto das ações implementadas nos KPIs.

Neste contexto, procura-se responder a duas perguntas de investigação, sendo a primeira: Poderá a implementação da abordagem estruturada pelo ciclo DMAIC, da metodologia Seis Sigma, proporcionar benefícios para o processo produtivo de uma empresa da indústria automóvel?; e a segunda: Poderá o manuseamento, realizado por parte dos operadores, ser um dos principais potenciadores de defeitos no processo produtivo de PCBs?

1.3 Metodologia de Investigação

A metodologia de investigação adotada na presente dissertação foi baseada na "*Research Onion*" de Saunders *et al.* (2016). Para cada camada, será explicada a escolha que mais se adequa a este estudo, começando pelas filosofias e abordagens e, de seguida, pelas estratégias, métodos, horizontes temporais e técnicas e procedimentos (Figura 1).

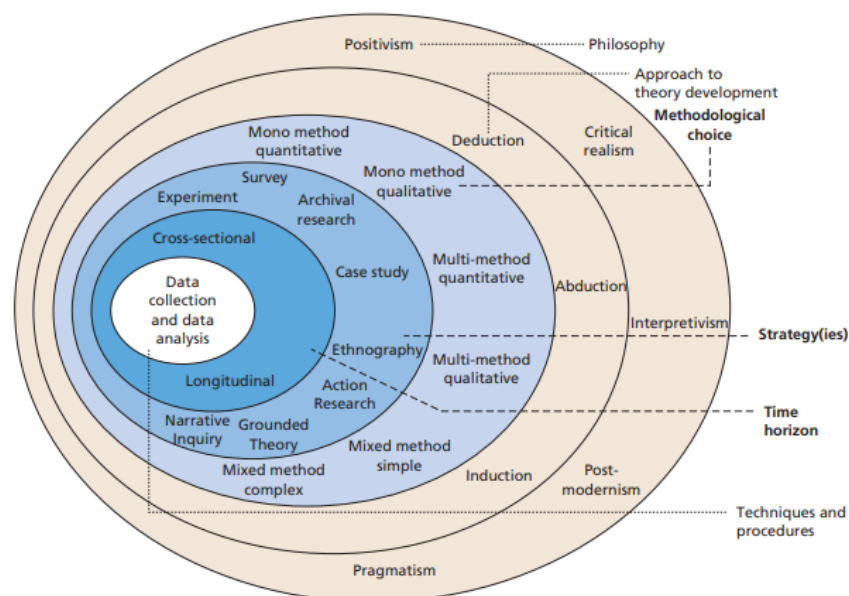


Figura 1 – "*Research onion*".

Fonte: Saunders *et al.* (2016).

A primeira camada diz respeito à filosofia de investigação, ou seja, ao desenvolvimento e à natureza do conhecimento. A que mais se adequa a este estudo é a positivista, que defende que apenas a realidade observável pode fornecer dados confiáveis para a investigação e o resultado final corresponderá a generalizações em forma de leis.

A abordagem de investigação, presente neste projeto, é a abordagem dedutiva, dado que é necessário desenvolver uma estrutura teórica e uma hipótese para que, posteriormente, através da recolha de dados seja possível testar essa hipótese (Saunders *et al.*, 2016).

Para cumprir com os objetivos apresentados anteriormente, a estratégia de investigação utilizada intitula-se como Investigação-Ação. Esta abordagem distingue-se das demais por incentivar a ação e proporcionar a “mudança” na organização. O intuito desta estratégia é desenvolver soluções para problemas organizacionais reais e é compreendida como uma investigação ativa, pois permite ao investigador intervir na organização, para investigar/analisar resultados e interagir com os colaboradores da mesma, possibilitando um ambiente colaborativo entre todos (Coghlan, 2011).

Segundo Susman & Evered (1978), a metodologia “Investigação-Ação” engloba as seguintes 5 fases:

- Diagnóstico: consiste em identificar possíveis problemas com a finalidade de, posteriormente, serem resolvidos;
- Planeamento da ação: identifica e planeia ações que permitam melhorar ou resolver os problemas identificados;
- Execução da ação: procede-se à seleção e implementação das ações planeadas com vista a solucionar os problemas;
- Avaliação: avalia-se as ações implementadas e verifica-se se o resultado é o esperado;
- Aprendizagem: efetua-se o registo das conclusões obtidas, de forma, a facilitar a resolução de problemas futuros.

Quanto ao projeto de melhoria, o mesmo foi estruturado de acordo com o ciclo DMAIC para resolução de problemas, segundo a metodologia Seis Sigma. Assim, este teve início com a definição e medição do problema, seguindo-se a fase de análise dos dados com vista a encontrar as causas raiz. Após a implementação de ações, de forma a melhorar o processo e remover as causas identificadas, procedeu-se à monitorização do processo para evitar o reaparecimento dos defeitos. Em cada fase deste ciclo, foram aplicados diferentes métodos, ferramentas e procedimentos.

Assim, importa ainda referir que o método de investigação adotado denomina-se *mixed-methods*, uma vez que envolve a recolha de dados de natureza qualitativa e quantitativa. A investigação quantitativa visa recolher dados numéricos e padronizados, cuja análise é conduzida através de diagramas e estatísticas. Contrariamente, a investigação qualitativa baseia-se na extração de significados através de palavras ou símbolos, recolhidos a partir de dados não padronizados e que carecem de classificação em categorias (Saunders *et al.*, 2016). O horizonte temporal em causa intitula-se por transversal, visto que o autor estuda um determinado fenómeno num dado momento.

Com a finalidade de construir bons alicerces que suportem a investigação e, por conseguinte, seja possível responder à proposta e aos objetivos definidos pelo autor foi feita uma pesquisa pormenorizada em diversas fontes bibliográficas. A título exemplificativo, os métodos de recolha de informação utilizados foram a análise de documentos da empresa, a consulta de jornais, artigos de revistas científicas e livros, recorrendo a bases de dados, nomeadamente, *Web of Science*, Repositório da Universidade do Minho, *Elsevier* e *Scopus*.

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, entre os quais, Introdução, Revisão de Literatura, Apresentação da Empresa, Projeto Seis Sigma, Bancadas de retrabalho de SMT e Conclusões.

O primeiro capítulo apresenta ao leitor o propósito da dissertação, contextualizando a problemática em estudo e os principais objetivos a serem alcançados. Descreve a metodologia de investigação adotada e, ainda, a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo pretende conceder uma base científica ao projeto com vista a responder aos objetivos definidos nesta dissertação. Neste sentido, é feita uma revisão crítica da literatura sobre a temática Seis Sigma, no qual se destaca a metodologia DMAIC e os fatores críticos de sucesso para a implementação de um projeto deste âmbito.

No terceiro capítulo é feita uma apresentação da empresa, onde são divulgados os seus principais produtos e marcos históricos. Ainda neste capítulo é realizada uma descrição geral do processo produtivo dos dois edifícios que serão foco de análise.

No quarto capítulo é apresentado um projeto de melhoria Seis Sigma, estruturado segundo o ciclo DMAIC, com o objetivo de reduzir o número de componentes danificados. Neste capítulo ocorre a descrição da situação atual da empresa e a definição da problemática em estudo, análise dos dados

recolhidos, implementação das ações de melhoria propostas e, por último, o controlo das ações delineadas.

O quinto capítulo inicia-se com a descrição e análise da situação atual das bancadas de retrabalho de SMT, no qual se segue a identificação de oportunidades de melhoria e termina com uma proposta para as novas bancadas.

Finalmente, no sexto capítulo são expostas as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido, mais concretamente as principais conclusões, sugestões para trabalhos futuros e ainda as limitações encontradas ao longo do projeto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Seis Sigma

Com a crescente globalização dos mercados e a incessante mudança da sociedade, as organizações vêm-se obrigadas a desenvolver novos processos e melhorar os já existentes, com o intuito de atender às expectativas dos clientes e dar resposta ao elevado nível de competitividade (M. Kumar *et al.*, 2007).

Nos finais da década de 1970, a empresa tecnológica japonesa Motorola verificou que estava a produzir componentes eletrónicos com um elevado número de defeitos, o que suscitou a crescente insatisfação dos seus clientes. Bob Galvin, CEO da Motorola, para superar esta adversidade, decidiu aplicar a metodologia Seis Sigma como parte integrante do seu programa de melhoria. Como resultado desta ação, esta empresa foi líder a nível da qualidade e lucros, sendo que em 1988 conquistou o Prémio Nacional da Qualidade Malcolm Baldrige, nunca antes atribuído a outra empresa (Pyzdek & Keller, 2014). Com o sucesso da implementação desta abordagem, o Seis Sigma difundiu-se rapidamente para diversas áreas e indústrias. A título ilustrativo, empresas como General Electric, Boeing, DuPont, Toshiba, Seagate, Allied Signal, Kodak, Honeywell, Texas Instruments e Sony passaram a adotar esta metodologia nas suas organizações (Ahmed *et al.*, 2020).

Neste sentido, o Seis Sigma surge como uma estratégia de negócio que se foca em melhorar a perceção dos requisitos do cliente, produtividade, sistemas de negócio e desempenho financeiro. Esta abordagem de gestão é direcionada para o aperfeiçoamento dos processos, produtos e serviços, por meio da contínua redução dos defeitos e da variabilidade dos processos numa organização (Kwak & Anbari, 2006; Mehrjerdi, 2011).

Numa outra perspetiva, o Seis Sigma consiste numa abordagem estruturada e sistemática de resolução de problemas que visa melhorar a qualidade dos processos estratégicos e desenvolver novos produtos e serviços, recorrendo a métodos estatísticos e científicos para reduzir, significativamente, a percentagem de defeito definidos pelo cliente (Linderman *et al.*, 2003).

Cada vez mais os projetos Seis Sigma são aplicados nas organizações como uma exigência corporativa para as operações estratégicas e táticas, uma vez que permitem obter melhores resultados, aumentar as competências dos colaboradores, aprimorar processos de trabalho e proporcionar a mudança cultural (Aboelmaged, 2010).

2.2 Seis Sigma: Perspetiva estatística

Do ponto de vista da estatística, o termo sigma é representado pela letra do alfabeto grego σ , designada por desvio-padrão, e é utilizado para medir a variabilidade intrínseca ao processo, produto ou serviço para uma distribuição normal (Pyzdek & Keller, 2014). Conforme o desvio-padrão aumenta, maior será a variabilidade do processo, o que reflete em menores lucros para a organização e redução da qualidade dos produtos e serviços, aumentando, desta forma, a quantidade de defeitos produzidos (Stanivuk *et al.*, 2020).

Shewhart foi a primeira pessoa a relacionar o Nível Sigma com a qualidade, definindo como limites de controlo ± 3 sigma (Setter, 2018). A Figura 2 ilustra a curva de distribuição normal onde, para uma característica da qualidade, estão representados o limite inferior de especificação (LIE) e o limite superior de especificação (LSE), a três desvios padrão do valor médio.

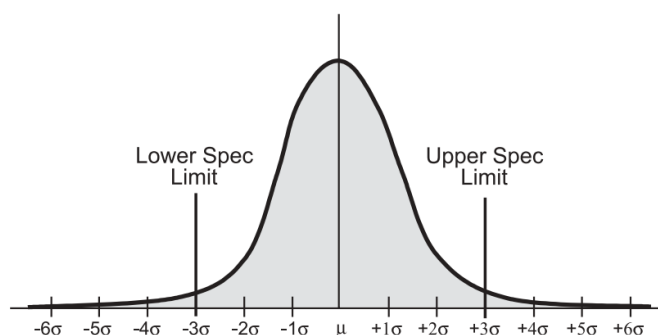


Figura 2 – Distribuição normal centrada no valor médio, μ .

Fonte: Adaptado de Koch *et al.* (2004).

Apesar dos níveis Sigma possibilitarem à organização obter uma visão mais clara sobre o desempenho de um processo, é importante salientar que, quando se compara os Níveis Sigma entre diferentes processos, nem sempre é possível reconhecer aquele que uma organização deve debruçar-se e melhorar primeiro (Setter, 2018). Na Tabela 1 encontram-se indicadas as probabilidades associadas a cada Nível Sigma, a percentagem de variação e o número de peças defeituosas por milhão de oportunidades.

Tabela 1 – Nível Sigma como percentagem de variação e defeitos por milhão por partes.

Fonte: Adaptado de Koch *et al.* (2004).

Nível Sigma	Percentagem de variação (%)	Defeitos por milhão (curto prazo)	Defeitos por milhão (longo prazo – Shift de 1,5 σ)
$\pm 1\sigma$	68.26	317400	697700
$\pm 2\sigma$	95.46	45400	308733
$\pm 3\sigma$	99.73	2700	66803
$\pm 4\sigma$	99.9937	63	6200
$\pm 5\sigma$	99.999943	0.57	233
$\pm 6\sigma$	99.999998	0.002	3.4

Ainda hoje é aceitável que uma organização atue com uma variação de desempenho do sistema de $\pm 3\sigma$, na medida em que representa uma taxa de sucesso de 99,73% ou que exista apenas 66.800 Defeitos Por Milhão de Oportunidades (DPMO). No entanto, quando a Motorola desenvolveu o conceito Seis Sigma, definiu como objetivo alcançar “zero defeitos”, ou seja, atingir uma taxa de sucesso de 99,9997% ou obter menos de 3,4 DPMO. Este é o nível ideal de desempenho de qualquer processo pois, desta forma, consegue dar resposta à elevada complexidade dos produtos e processos atuais, bem como satisfazer as expectativas dos clientes (Kwak & Anbari, 2006).

Geralmente, para se definir a qualidade dos processos utilizam-se as métricas Defeitos por Milhão de Oportunidades (DPMO) ou Partes Por Milhão (PPM). Assim, antes de mais, importa clarificar os seguintes conceitos: oportunidade e defeito. Considera-se oportunidade como qualquer possibilidade de não conformidade ou não atendimento às especificações exigidas, enquanto defeito define-se como qualquer saída do processo que não atenda às especificações do cliente (Mehrerjedi, 2011).

Para o cálculo dos DPMO deve-se ter em conta o número de defeitos, o número total de unidades inspecionadas e o número total de oportunidades de ocorrência de defeitos. A fórmula para o cálculo dos DPMO encontra-se na equação (1).

$$DPMO = \frac{\text{Número de Defeitos}}{\text{Número total de unidades inspecionadas} * \text{Número total de oportunidades}} * 10^6 \quad (1)$$

É de salientar que quanto mais baixo for DPMO, maior é o Nível Sigma, o que significa que existirá menos defeitos e melhor qualidade dos produtos ou serviços entregues ao cliente.

No cálculo dos PPMs somente é considerado o número de defeitos e o número total de unidades inspecionadas. Na equação (2) está apresentada a fórmula para o cálculo dos PPMs.

$$PPM = \frac{\text{Número de Defeitos}}{\text{Número total de unidades inspecionadas}} * 10^6 \quad (2)$$

Quanto menor o valor dos PPMs melhor é a qualidade dos produtos.

Pelo facto de nenhum processo ser efetivamente estável, tornou-se necessário diferenciar DPMO em curto e longo prazo. No curto prazo os defeitos por milhão de peças correspondem diretamente à variação percentual para um determinado Nível Sigma, associado à distribuição normal padrão. No entanto, a Motorola verificou que a média dos processos ao longo do tempo tendia a derivar aproximadamente 1,5 desvio-padrão em cada direção (Figura 3), designada por *shift* do processo. Por esta razão, os defeitos por milhão de peças correspondem a 1,5 σ deslocamento da média, ficando o LSE ou o LIE a 4,5 σ da

média do processo (Koch *et al.*, 2004). Deste modo, a taxa de defeito aumentará de 0,002 DPMO para 3,4 DPMO (Tabela1).

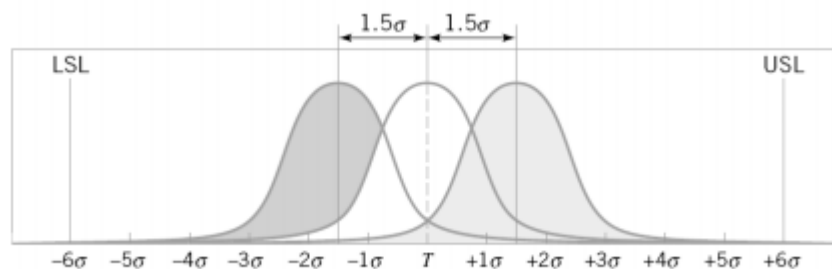


Figura 3 – Distribuição normal com média desviada $\pm 1,5\sigma$ do valor alvo, μ .

Fonte: Montgomery & Woodall (2008).

À primeira vista este deslocamento pode parecer irrelevante, contudo para organizações que operem em processos com níveis inferiores ao Seis Sigma, podem advir consequências pejorativas para a organização.

2.2.1 Capacidade do processo

A capacidade do processo compara a variação inerente de um processo com as especificações que são determinadas segundo as necessidades do cliente (Senvar & Toz, 2010).

Na literatura pode-se encontrar uma variedade de índices de capacidade, no entanto, importa destacar dois índices relacionados com a capacidade do processo, o C_p , que corresponde ao índice potencial de capacidade e o C_{pk} , que é o índice de desempenho do processo (Simanová & Gejdoš, 2015).

O C_p compara o valor da variabilidade do processo permitida com a variabilidade natural do processo (Kureková, 2001). Na equação (3) está indicada a representação matemática para o cálculo deste índice que diz respeito ao quociente entre a variação permitida para o processo e a variação normal que existe no mesmo (George *et al.*, 2005).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (3)$$

Se o valor C_p for inferior a 1, significa que a variação do processo excede os limites das especificações. Neste caso, o processo não se encontra dentro do limite, ou seja, não tem capacidade para cumprir com as especificações e, por isso, produzem um número considerável de defeitos. Um valor C_p igual a 1 significa que a variação do processo corresponde aos limites de especificação, logo o processo atende exatamente às especificações. Um valor C_p maior que 1 indica que a variação do processo é menor que as especificações. Por sua vez, um valor de C_p entre 1 e 1,33 reflete que o processo é capaz de cumprir

com os limites de especificação estabelecidos. Finalmente, se o C_p for superior a 1,33 significa que o processo é altamente capaz de cumprir com os limites de especificação.

Na situação em que um processo se encontra num nível Seis Sigma, as especificações do produto estão a $\pm 6\sigma$ do valor alvo do processo, o que traduz que o índice de capacidade do processo (C_p) é igual a dois (George *et al.*, 2005; Senvar & Toz, 2010).

Relativamente ao índice de desempenho do processo, C_{pk} , o mesmo permite saber qual é o posicionamento da média do processo em relação aos limites de especificação e ao valor alvo sendo que, por isso, caracteriza a capacidade real do processo (Simanová & Gejdoš, 2015). Este índice pode ser calculado usando a equação (4).

$$C_{pk} = \min \left(\frac{\mu - LIE}{3\sigma}, \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \right) \quad (4)$$

Quanto maior for o C_{pk} , melhor será o processo. Além disso, quando o C_p é igual ao C_{pk} , a variação do processo encontra-se centrada entre os limites de especificação (Senvar & Toz, 2010).

2.3 Metodologia Resolução de Problemas: Ciclo DMAIC

Apesar da abordagem Seis Sigma ter surgido como um método estatístico para reduzir a variação nos processos de produção da Motorola, atualmente, esta abordagem evoluiu para uma estratégia de gestão da produção que visa avaliar a eficiência de um negócio e melhorá-lo (Ifrim *et al.*, 2020).

A metodologia Seis Sigma consiste numa abordagem estruturada e fundamental na melhoria contínua dos processos, com vista a resolver os problemas e alcançar níveis de qualidade Seis Sigma. O ciclo DMAIC é parte integrante desta metodologia e deve ser implementado quando a solução para um problema é desconhecida (International Organization for Standardization, 2011).

A estrutura do processo DMAIC incentiva os participantes do projeto a terem um pensamento criativo sobre os problemas encontrados e as possíveis soluções, para responderem às diversas questões que surgem ao longo do projeto (Montgomery & Woodall, 2008).

O ciclo DMAIC está dividido em cinco etapas designadas por Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, que seguem uma sequência lógica, começando desde a definição do problema até à implementação de soluções para colmatar as causas raiz, bem como a sustentabilidade de boas práticas que garantem a melhoria. Este método consiste num *loop* fechado que possibilita a eliminação de etapas que não agregam valor ao produto ou serviço e que aplica diferentes tecnologias para a melhoria contínua (Dhiraj & Deepak, 2014). É de salientar que cada fase do ciclo DMAIC recorre a um conjunto de técnicas

e ferramentas que apoiam a tomada de decisão. Assim, as mesmas possibilitam uma análise precisa e técnica de todo o problema o que facilita a atuação direta na causa raiz evitando, portanto, conclusões imprudentes (George *et al.*, 2005).

As fases do DMAIC encontram-se descritas na Figura 4.

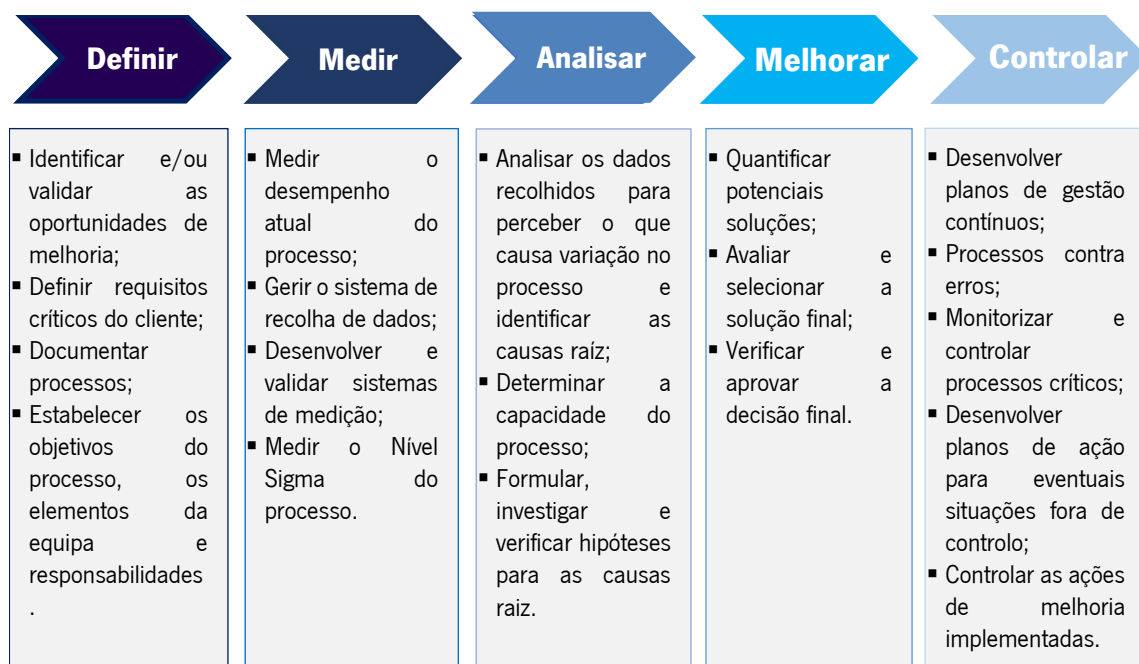


Figura 4 – Ciclo DMAIC.
Fonte: Adaptado de Montgomery and Woodall (2008).

2.3.1 Fase Definir

A primeira etapa do ciclo DMAIC denomina-se Definir e consiste na definição do problema, dos objetivos e o âmbito do projeto (Figura 5). Ainda nesta fase é importante compreender os requisitos e expectativas dos clientes, selecionar a equipa de trabalho, delineando os papéis e as responsabilidades que serão atribuídas aos envolvidos no projeto, bem como definir métricas para rastrear a situação organizacional (Pyzdek & Keller, 2014).

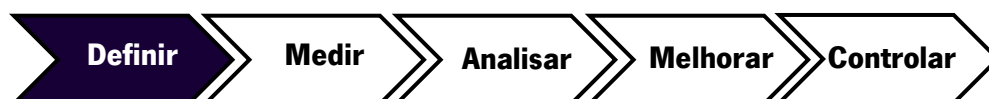


Figura 5 – DMAIC: Fase Definir.

Uma ferramenta bastante utilizada, nesta fase, é o *Project Charter*. Esta ferramenta resume toda a informação relevante do projeto Seis Sigma (Pyzdek, 2003). Este documento deve ser elaborado nas

etapas iniciais do projeto para que seja autorizado formalmente. Não obstante, o *Project Charter* permite a comunicação entre os envolvidos do projeto e, neste sentido, o mesmo deve ser feito de modo a que qualquer pessoa seja capaz de o compreender claramente.

Outra ferramenta amplamente utilizada, como suporte à tomada de decisão, é o diagrama de Pareto, uma vez que permite identificar os principais problemas que atingem uma organização ou processo, indicando exatamente onde é que os esforços devem ser direcionados para implementar melhorias (Ishikawa, 1976). Esta ferramenta corresponde a uma representação gráfica e é apresentada por barras que dispõem de forma simples e visual a ordem de importância dos problemas, priorizando-os por ordem decrescente, da esquerda para a direita, as categorias mais frequentes de forma a identificar as oportunidades vitais de melhoria (Duffy, 2013). De acordo com o Princípio de Pareto, 80% dos problemas estão relacionados com 20% das causas, ou seja, grande parte dos problemas ocorrem devido a um reduzido número de causas (Best & Neuhauser, 2006). Joseph Juran denominou a estes 20% "*vital few*" ("pouco vitais"), o que significa que 20% das causas têm um grande impacto na organização pois resultam em grandes perdas para a mesma e, por isso, na seleção do projeto, estas devem ser consideradas como prioritárias, disponibilizando os recursos necessários para eliminá-las. Por outro lado, os restantes 80% designam-se por "*trivial many*" ("muito triviais"), cujos problemas associados a esta percentagem resultam em pequenas perdas para a organização (Juran & Godfrey, 1998). Neste sentido, o foco das melhorias deve ser nos 20% das causas, pois resolverão 80% dos problemas.

Destaca-se ainda a ferramenta fluxograma, esta proporciona uma visão global do fluxo de um processo e consiste numa representação gráfica que ilustra as interações de um processo, seguindo uma ordem lógica e sequencial, utilizando símbolos gráficos. Segundo Duffy (2013), a utilização desta ferramenta permite averiguar como é que as várias etapas de um processo se relacionam entre si, possibilita delinear os limites do processo, verificar e identificar as relações cliente-fornecedor, promover um entendimento comum do fluxo do processo e identificar redundâncias e complexidades não necessárias. Posto isto, a elaboração de um fluxograma possibilita compreender como é que, atualmente, o processo funciona e auxilia na identificação de oportunidades de melhoria, nomeadamente falhas e problemas que originam desperdícios e retrabalhos.

2.3.2 Fase Medir

O objetivo da fase Medir consiste em quantificar o problema e avaliar o desempenho dos processos (Figura 6). Assim, é fundamental recolher informações para perceber que dados estão disponíveis e que, por conseguinte, indicam que existe realmente um problema. Ainda nesta fase, identificam-se áreas

problemáticas para que as mesmas possam ser investigadas na etapa seguinte. Desta forma, é necessário elaborar uma análise exploratória dos dados para restringir o problema (M. Kumar *et al.*, 2007).

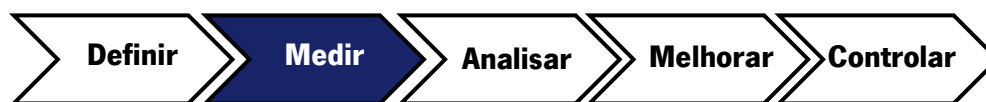


Figura 6 – DMAIC: Fase Medir.

Numa primeira instância, deve-se começar por garantir que os sistemas de medição (instrumentos, padrões, *software*, métodos, operadores, entre outros) são capazes de fornecer dados confiáveis pois, caso contrário, qualquer análise estatística realizada posteriormente pode ser inválida (International Organization for Standardization, 2011). Neste sentido, uma ferramenta bastante utilizada é a Análise de Sistemas de Medição (*Measurement System Analysis*, MSA). Esta ferramenta tem o propósito de determinar se um sistema de medição pode gerar dados precisos e se essa precisão é adequada para atingir os objetivos (George *et al.*, 2005).

Dos diferentes estudos do MSA, importa destacar o estudo *Gage* de Repetibilidade e Reprodutibilidade (GR&R). Um estudo GR&R é uma estimativa da variação combinada de repetibilidade e reprodutibilidade. Repetibilidade define-se como a variação que se observa quando o mesmo operador mede repetidamente a mesma amostra, no mesmo instrumento e nas mesmas condições. Isto significa que a variação é inerente ao sistema de medição porque as condições de medição são fixas e definidas. Reprodutibilidade diz respeito à variação observada entre os resultados das medições realizadas por diferentes operadores, medindo a mesma característica, sob as mesmas condições ambientais (AIAG, 2010).

De acordo com a AIAG (2010) considera-se que um sistema de medição é aceitável se a %GR&R for inferior a 10%. Se esta pontuação estiver entre 10% e 30%, então o sistema de medição pode ser considerado aceitável para algumas aplicações. Por outro lado, considera-se que um sistema de medição é inaceitável quando %GR&R for superior a 30%. Neste último caso, deve ser aplicado um maior esforço na tentativa de melhorar o sistema de medição.

Outra ferramenta, muitas vezes aplicada, é a carta de controlo para identificar as variações no processo e determinar se o mesmo está sob controlo estatístico. Os gráficos de controlo ajudam a distinguir a variação de “causa comum” de “causa especial”. Designa-se causas comuns às flutuações dos pontos, dentro dos limites, que resultam da variação inerente ao processo, isto é, das causas aleatórias do processo difíceis de prevenir ou controlar. Contudo, os pontos fora dos limites resultam de causas especiais (alterações à estabilidade do processo) que não fazem parte do modo normal de funcionamento

do processo. Estas causas especiais devem ser eliminadas antes da carta de controlo ser usada como ferramenta de monitorização (Soković *et al.*, 2009).

Normalmente, uma carta de controlo é uma carta de tendência com dois limites determinados estatisticamente, um superior e outro inferior em cada lado da linha central, sendo esta linha a média do processo. Esses limites de controlo são identificados por meio de equações de maneira a que quase todos os pontos da amostra fiquem entre estes dois limites quando o processo estiver sob controlo (Duffy, 2013).

Os limites de controlo correspondem a aproximadamente ± 3 desvios-padrões da média. Portanto, é importante realçar que os limites não são limites de especificação, pois são baseados em dados e exibem somente o desempenho do processo, enquanto que os últimos se baseiam nos requisitos dos clientes (George *et al.*, 2005). Existem, sobretudo, duas categorias de gráficos de controlo, nomeadamente, para atributos e variáveis, dependendo das características de qualidade em estudo.

- Dados de atributos: Esta categoria exhibe dados de natureza discreta (por exemplo, aprovação/reprovação);
- Dados de variáveis: Esta categoria exhibe os dados provenientes do processo expressos em termos numéricos numa escala contínua (por exemplo, tempo).

Em suma, utilizar gráficos de controlo permite identificar causas especiais e mudanças no desempenho, garantir a estabilidade do processo, permite a previsibilidade e, ainda, determina se as melhorias de processo estão a surgir os efeitos pretendido (Duffy, 2013).

2.3.3 Fase Analisar

Na fase Analisar (Figura 7) são utilizadas ferramentas estatísticas e de análise a fim de identificar e priorizar as causas raiz dos problemas (M. Kumar *et al.*, 2007).



Figura 7 – DMAIC: Fase Analisar.

Assim, uma ferramenta frequentemente utilizada é o Diagrama de Ishikawa, também conhecido por “Diagrama de Causa-Efeito” ou “Diagrama em Espinha de Peixe”, que foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa com o intuito de representar as relações existentes entre um problema específico e todas as possíveis causas que influenciam o resultado não esperado (Pinto & Ribeiro, 2006). Quando o problema é identificado, a equipa deve procurar ativamente as potenciais causas do problema e, para tal, muitas

vezes recorre-se a sessões de *brainstorming*, como uma forma de propiciar a troca de ideias e de conhecimento entre os participantes. Neste sentido, a ferramenta Ishikawa auxilia as equipas a estruturarem e sistematizarem as causas em 4 categorias principais, a saber: Máquinas (equipamento), Materiais ou Matérias Primas, Métodos e Mão de Obra (pessoas). Outros autores acrescentam mais Ms como, por exemplo, Meio ambiente e *Management*. Não obstante, importa salientar que o grau de relevância de uma causa deve ser estabelecido, não apenas tendo em conta as experiências dos participantes, mas também com base em dados (Ishikawa, 1976; Pinto & Ribeiro, 2006).

Outra ferramenta gráfica comumente usada é a Análise de Árvore de Falha (*Fault Tree Analysis*, FTA) onde, através de um diagrama, é possível identificar a causa raiz de uma falha seguindo uma abordagem sistemática. De acordo com Vesely *et al.* (1981), FTA é uma análise dedutiva de falha que se concentra num determinado evento indesejado e permite encontrar todas as causas subjacentes a esse evento. Aquando da construção de uma análise de árvore de falha deve-se definir o evento indesejado e colocá-lo no nível superior. De seguida, determinam-se as possíveis causas para a ocorrência dessa falha. Com a utilização da lógica booleana, combina-se uma série de eventos de forma a identificar a causa que provoca o evento principal. Para isso, a análise deve ser *Top-Down* (de cima para baixo) (Mzougui & Elfelsoufi, 2019).

Muitas vezes, para se determinar a principal causa de um problema também se utiliza o método *5 Why*, uma vez que investiga, de forma sucessiva, a causa e o efeito subjacente de um problema específico através da pergunta porquê. Assim, após a identificação do problema questiona-se o porquê de tal situação ter ocorrido até se chegar à causa raiz. Por este motivo, esta técnica impede que a equipa admita soluções superficiais que, a longo prazo, não resolvem o problema (George *et al.*, 2005).

2.3.4 Fase Melhorar

Nesta fase pretende-se identificar, implementar e testar potenciais soluções, de forma a eliminar os problemas identificados na fase anterior (Sutrisno *et al.*, 2019). Segundo George *et al.* (2005), depois de se desenvolver as potenciais soluções para um problema, estas devem ser avaliadas, para que se prossiga à seleção e otimização das melhores práticas. Uma das possíveis ferramentas utilizadas, nesta fase, é a matriz esforço-benefício, pois permite priorizar as soluções que resultam em maiores benefícios para a empresa com um menor esforço. É de notar que, em determinadas situações, deve-se desenvolver e implementar uma solução piloto para compreender se a ação cumpre com os objetivos do projeto (Figura 8).



Figura 8 – DMAIC: Fase Melhorar.

2.3.5 Fase Controlar

A fase de controlo assegura que as melhorias e soluções implementadas no processo perduram após o encerramento do projeto (Figura 9). Assim, nesta fase, deve-se estabelecer um plano de monitorização e controlo para que os resultados obtidos sejam exibidos de forma contínua (Jirasukprasert *et al.*, 2015). As melhores práticas devem ser documentadas e padronizadas de modo a evitar a reincidência do problema. Desta forma, o conhecimento adquirido, através das melhorias implementadas, também deve ser aplicado a outros processos da organização (Sutrisno *et al.*, 2019).

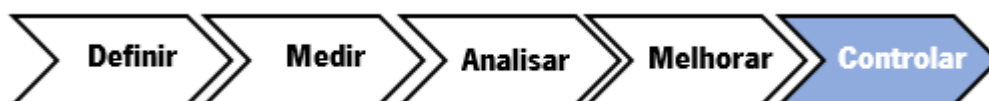


Figura 9 – DMAIC: Fase Controlar.

2.3.6 Síntese das ferramentas adotadas no ciclo DMAIC

Tal como já foi referido anteriormente, em cada fase do ciclo DMAIC podem ser aplicadas diferentes ferramentas e técnicas de qualidade. Na Figura 10 apresenta-se uma síntese das ferramentas que podem ser aplicadas em cada fase deste ciclo.

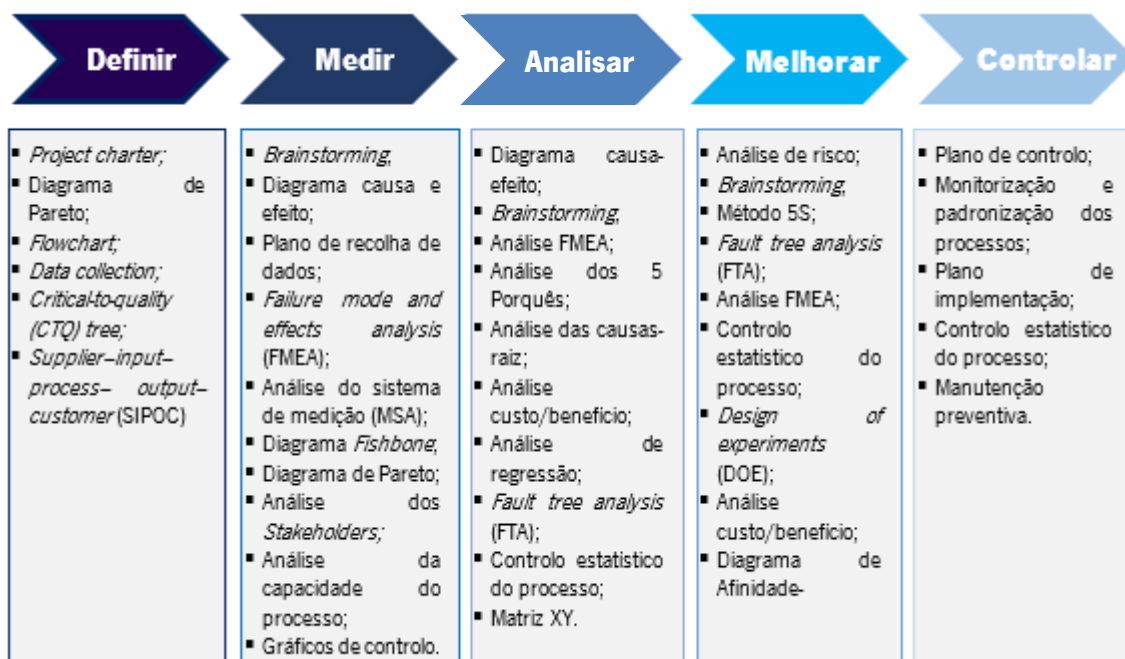


Figura 10 – Principais ferramentas do ciclo DMAIC.
Fonte: Adaptado de Kubiak (2012).

A partir da Figura 10 pode-se verificar que, de entre as diferentes ferramentas que se pode aplicar ao longo de um projeto Seis Sigma, estão mencionadas as sete Ferramentas Clássicas da Qualidade, nomeadamente, diagrama de Pareto, fluxograma, folhas de verificação, diagrama de Ishikawa ou diagrama de espinha de peixe, histograma, gráficos de dispersão e as cartas de controlo. Estas ferramentas também são conhecidas como as sete ferramentas "básicas" ou "antigas", desenvolvidas pelo Dr. Kaoru Ishikawa que, por sua vez, consistem num conjunto de técnicas gráficas reconhecidas como vitais para a resolução de problemas relacionados com a qualidade (Soković *et al.*, 2009; Antony *et al.*, 2021).

Segundo Kaoru Ishikawa (1985), 95% dos problemas enfrentados por uma organização podem ser resolvidos com a implementação das sete Ferramentas Clássicas da Qualidade. Desenvolvidas para auxiliar na identificação e/ou na análise dos processos, estas ferramentas de resolução de problemas são altamente eficazes na melhoria da produtividade e da qualidade, o que se traduz em benefícios para os clientes. No entanto, torna-se imperativo saber selecionar as ferramentas que realmente irão identificar oportunidades de melhoria e auxiliar na resolução de problemas, pois caso contrário poder-se-á retirar conclusões erróneas (Soković *et al.*, 2009).

2.4 Responsabilidade dos intervenientes na metodologia Seis Sigma

Para que a implementação de projetos Seis Sigma obtenha êxito é categórico existir uma estrutura organizacional para gerir e apoiar as diversas atividades. Neste sentido, é fundamental envolver uma equipa multidisciplinar que conduza e lidere o projeto. Cada membro assume diferentes responsabilidades, de acordo com o seu grau de conhecimento e área de atuação do projeto. Os principais intervenientes num projeto Seis Sigma serão, de seguida mencionados.

a) Cinturões Verdes (*Green Belts*)

Um *Green Belt* é considerado um agente de mudança, uma vez que a sua participação auxilia a transformação da cultura de uma empresa desde o início. Este membro apenas possui conhecimentos básicos dos conceitos e ferramentas Seis Sigma e, por esta razão, quando um *Green Belt* lidera um projeto, normalmente é apoiado ativamente pelos *Black Belt*, visto que somente se dedicam a meio termo a um projeto de cada vez (Kwak & Anbari, 2006).

b) Cinturões Negros (*Black Belts*)

Os elementos *Black Belt* estão integrados no processo de mudança e desenvolvimento organizacional. Deste modo, para além de terem conhecimento e saberem utilizar diversas ferramentas técnicas, estes

indivíduos têm de ser capazes de liderar projetos de melhoria de processos de negócios e, por isso, é essencial comunicar e trabalhar com eficácia (M. Kumar *et al.*, 2007).

c) Mestre de Cinturão Negro (*Master Black Belt*)

Os membros *Master Black Belt* diferenciam-se dos *Black Belt* devido às suas elevadas competências técnicas e organizacionais, sendo estes possuidores de liderança técnica do programa Seis Sigma e, por isso, têm mais aptidões para alguns aspetos de melhoria de processos, nomeadamente na realização de análises estatísticas avançadas, gestão de projetos e *coaching* (Singh & Singh, 2020).

Estes elementos identificam oportunidades de melhoria para implementar a metodologia Seis Sigma em toda a empresa, apoiam a seleção de colaboradores para funções de *Black Belt* e *Green Belt* e dão formação aos membros do *Black Belt*, com o intuito de garantir que estes sejam capazes de aplicar as técnicas e ferramentas de forma apropriada (Brue, 2006).

d) Campeão (*Champion*)

Os indivíduos *Champions* detêm o maior nível hierárquico, uma vez que possuem um vasto conhecimento sobre Seis Sigma. Estes indivíduos estão a tempo integral na organização e têm a responsabilidade de supervisionar e gerir diariamente cada elemento crítico do projeto Seis Sigma, assegurando que os projetos selecionados estão alinhados com a visão, meta e objetivos estratégicos da organização. Para além disso, fornecem um apoio contínuo à equipa envolvida, garantindo a disponibilidade dos recursos e, identificam e removem obstáculos organizacionais para que os *Black Belts* consigam desempenhar as suas funções com sucesso (Brue, 2006).

Neste sentido, os *Champions* devem possuir excelentes habilidades comunicacionais, bem como respeitar os princípios éticos, visto que a liderança envolve integridade e honestidade (Kwak & Anbari, 2006).

2.5 Fatores críticos para o sucesso de Projetos Seis Sigma

Os fatores críticos de sucesso dizem respeito aos elementos essenciais para o êxito de qualquer organização. Mais concretamente, na implementação de um projeto Seis Sigma estes fatores são fundamentais, pois sem eles existem ínfimas possibilidades de o projeto ser bem-sucedido (Singh & Singh, 2020).

Segundo Kwak & Anbari (2006), a implementação de projetos Seis Sigma requer uma mudança efetiva na cultura e na estrutura da organização e, por isso, é fundamental o compromisso e o envolvimento da

gestão de topo, com o objetivo de promover a melhoria contínua na organização. Por outro lado, a formação dos colaboradores também assume um fator crucial, uma vez que é essencial que estes sejam capazes de compreender as ferramentas e técnicas para poderem aplicar e desenvolver a metodologia na organização.

Para maximizar os benefícios provenientes da implementação de projetos Seis Sigma é importante selecionar e priorizar rigorosamente os projetos a adotar tendo em conta as metas e objetivos de negócio da organização, com o propósito de os esforços não serem em vão (Antony, 2006).

O estudo de Singh & Singh (2020) prioriza os principais fatores críticos para o sucesso de projetos Seis Sigma. Estes seguem uma ordem lógica que vai desde a liderança de gestão, envolvimento e compromisso, ao qual se segue a formação; mudança cultural; priorização e seleção de projetos; gestão das *skills* do projeto; alinhar o projeto Seis Sigma com a estratégia organizacional; infraestrutura e recursos organizacionais; comunicação; compreensão da metodologia, ferramentas e técnicas Seis Sigma; alinhar o projeto Seis Sigma com os clientes; foco e requisitos do cliente; dados e relatórios de qualidade e, por último, alinhar o projeto Seis Sigma com os fornecedores.

A estratégia Seis Sigma tem sido aplicada em grandes e pequenas empresas, sendo notório, ao longo da revisão da literatura, as vantagens que este método traz para as organizações. Uma das mais citadas é a redução e prevenção de defeitos que afetam a qualidade dos produtos e processos (Tjahjono *et al.*, 2010). Kumar *et al.* (2011) defendem que o principal benefício de um projeto Seis Sigma é a eliminação da subjetividade na tomada de decisão, visto que todos na organização recolhem, analisam e apresentam dados de forma consistente. Outros autores afirmam que o Seis Sigma permite reduzir o prazo de entrega e o tempo de ciclo de contratação e formação de novos colaboradores e melhorar a logística, a capacidade de previsão de vendas e a qualidade do atendimento ao cliente (Mehrerjedi, 2011; Senvar & Toz, 2010). Em suma, quando as organizações têm consciência dos fatores críticos aquando da implementação de projetos Seis Sigma e tentam superá-los, é possível aumentar a qualidade dos produtos, promover a satisfação dos clientes e gerar lucros para as empresas (Stanivuk *et al.*, 2020).

2.6 Síntese da revisão da literatura

Hoje em dia, devido à crescente exigência dos mercados e ao surgimento de problemas complexos, o ambiente produtivo é altamente volátil e muda a um ritmo acelerado. Perante tal querela, as empresas estão empenhadas em melhorar os seus processos de forma a atingirem elevados níveis de qualidade, para conquistarem novos mercados. Neste sentido, as empresas optam por implementar projetos Seis

Sigma com o objetivo de melhorarem os produtos, processos e serviços, através da contínua redução dos defeitos e da variabilidade dos seus processos. Desta forma, permite às mesmas atingirem níveis de excelência, isto é, conseguirem uma taxa de sucesso de 99,9997% ou obter menos de 3,4 Defeitos Por Milhão de Oportunidades.

Para o desenvolvimento de projetos de melhoria Seis Sigma utiliza-se a metodologia DMAIC. Este modelo estruturado de resolução de problemas, integra cinco etapas, *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Melhorar) e *Control* (Controlar) que, através da aplicação de diversas ferramentas, permite reunir dados e informações que apoiam a tomada de decisão estratégica. Assim sendo, é essencial oferecer formações intensivas que incluam diferentes níveis organizacionais e de especialistas como *Champions*, *Master Black Belts*, *Black Belts* e *Green Belts*.

A implementação desta metodologia continua a apresentar casos de êxito em diversas áreas (produtiva, financeira, saúde, marketing, recursos humanos), o que reflete a sua versatilidade na resolução de problemas.

Ao longo da revisão da literatura, muitos estudos identificam a liderança de gestão como o fator mais importante para o sucesso de um projeto Seis Sigma, pois o compromisso da mesma é vital para garantir uma mudança sustentável na cultura da organização. Depreende-se, então, que somente desta forma é possível construir uma cultura organizacional caracterizada pelo forte envolvimento de todos e pelo comprometimento com a melhoria contínua.

Dos benefícios inerentes à aplicação de projetos Seis Sigma salienta-se que o mesmo, através da otimização de produtos e processos, proporciona a redução de defeitos, aumenta a lucratividade da empresa e promove a satisfação do cliente.

3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

3.1 Empresa acolhedora do projeto: Aptiv

Neste capítulo pretende-se descrever a empresa onde foi realizado o presente projeto de dissertação, Aptiv – *Advanced Safety and User Experience* – Portugal S.A.. Inicialmente, é feita uma breve contextualização da empresa a nível mundial, destacando as suas unidades de negócio, missão, visão e estratégia. De seguida, devido ao facto de o projeto ter sido desenvolvido na unidade produtiva de Braga, proceder-se-á a uma abordagem mais detalhada sobre a mesma, sendo mencionado os principais marcos históricos, produtos e sistema produtivo.

3.2 O grupo Aptiv

O grupo Aptiv surgiu em dezembro de 2017, fruto de um *spin-off* do grupo norte-americano *Delphi Automotive Systems*. Assim, resultaram duas empresas distintas, a Delphi Technologies responsável pelo setor *Powertrain* e a Aptiv responsável pela área de negócio *Advanced Safety & User Experience & Power Solutions*.

A Aptiv é um dos maiores fornecedores da indústria automóvel a nível mundial. Atualmente, esta empresa encontra-se sediada em Dublin, Irlanda, e emprega, aproximadamente, 160.000 colaboradores em 44 países de todo o mundo.

Na Figura 11 estão identificados os principais centros técnicos, centros R&D e fábricas da Aptiv a nível mundial.



Figura 11 – Localização dos centros técnicos, centros R&D e fábricas.

A Aptiv é uma empresa de tecnologia global que tem como missão desenvolver soluções mais seguras, ecológicas e conectadas, que permitem o futuro da mobilidade. A visão desta empresa é criar uma nova geração de segurança ativa, veículos autónomos, cidades inteligentes e conectividade e, por isso, a estratégia passa por fornecer o cérebro e o sistema nervoso do veículo.

Focada em “Fazer sempre a coisa certa, da forma certa”, a empresa rege-se pelos valores apresentados na Figura 12.



Figura 12 – Valores da Aptiv.

3.3 Aptiv Portugal

Ao longo do território nacional, o grupo Aptiv encontra-se presente em três localizações distintas, mais concretamente, Braga, Castelo Branco e Lumiar, tal como está ilustrado na Figura 13.



Figura 13 – Aptiv em Portugal.

No que diz respeito à fábrica de Braga, importa referir que esta dedica-se à produção de peças plásticas (moldagem e acabamento), placas eletrónicas (montagem e soldadura de componentes em *Printed Circuit Board* (PCB)) e montagem final de autorrádios, *displays* e sistemas de navegação. Em relação à unidade fabril de Castelo Branco, esta é especializada na produção de sistemas elétricos para a indústria automóvel (cablagens). Já os centros técnicos de Braga e Lumiar dedicam-se ao desenvolvimento de novos produtos.

3.4 Aptiv Braga

O projeto de dissertação desenvolveu-se na Aptiv Braga, inserido na divisão *Advanced Safety and User Experience*, o qual inclui unidades de negócio como *Infotainment*, *User Experience*, *Connectivity and Security*, *Autonomous Driving and Active Safety*.

Atualmente, a Aptiv Braga emprega cerca de 1000 colaboradores e possui a mais avançada tecnologia e processos inovadores. Detentora da certificação ISO 9001, QS 9000, VDA 6.1, IATF 16949 e ISO 14001, reforça o seu compromisso de atingir os elevados níveis de qualidade e confiabilidade exigidos pelos fabricantes de automóveis, *Original Equipment Manufacturer*, OEM.

Reconhecida pelo seu prestígio na produção para a indústria automóvel, esta empresa é detentora de um vasto portfólio de produtos, como está evidenciado na Figura 14, e exporta praticamente a totalidade

da sua produção para os principais OEM, alcançando vendas anuais de, sensivelmente, 550 milhões de euros.

Product Line	Product Family	Product Portfolio
Infotainment and User Experience	Head Units Navigation Systems	     
	Displays, Clusters, and Head up Displays	   
Connectivity and Security	Body Control	 
		apresentar a

Figura 14 – *Portfólio* de produtos da APTIV.

A Figura 15 retrata o processo evolutivo da empresa ao longo dos últimos anos, expondo os principais marcos históricos organizacionais, juntamente com certificações da qualidade alcançadas pela mesma.

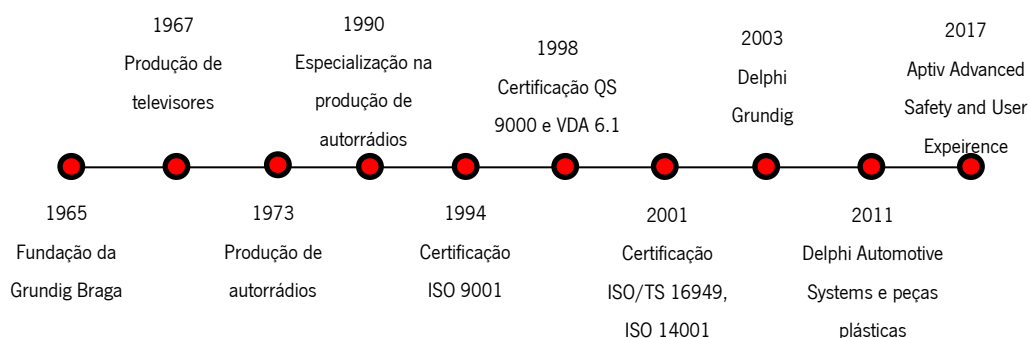


Figura 15 – Marcos históricos da Aptiv em Braga.

O complexo industrial da Aptiv é constituído por 4 edifícios, apresentados na Figura 16.

O edifício 1, para além de possuir uma área produtiva destinada à produção de placas eletrónicas e montagem final de autorrádios, possui também um pequeno armazém de matéria-prima e uma área onde estão presentes a maioria dos serviços administrativos. No edifício 2, uma área é reservada à produção de componentes plásticos, outra à produção de módulos eletrónicos, uma parcela destinada à montagem final de componentes eletrónicos e existe, ainda, um espaço de armazenamento de produtos acabados. No edifício 3 procede-se ao armazenamento de todo o material de embalagem. Por último, no

edifício 4, encontra-se o Centro de Investigação e Desenvolvimento, este consiste na mais recente unidade dedicada ao desenvolvimento de novos produtos.



Figura 16 – Planta Aptiv Braga.

3.4.1 Descrição do processo produtivo

A Aptiv Braga possui dois complexos fabris - edifício 1 e edifício 2 - que se dedicam principalmente à produção de componentes eletrónicos e plásticos, respetivamente.

O presente projeto de dissertação foi desenvolvido no processo produtivo de ambos os edifícios e, por isso, será apresentada de seguida uma descrição de cada um deles.

Área produtiva: Edifício 1

A área de produção do edifício 1 está dividida em três secções principais: inserção automática de componentes eletrónicos (*Surface Mount Technology*, SMT), inserção manual de componentes eletrónicos (*Circuit Board Assembly*, CBA) e montagem final (*Final Assembly*, FA). O *layout* deste edifício está exibido na Figura 17.

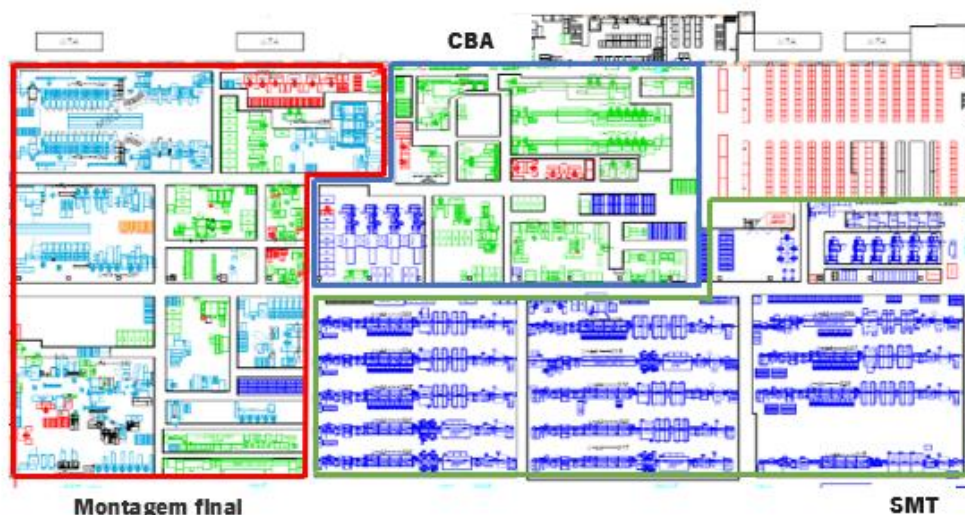


Figura 17 – Layout dos principais processos no edifício 1.

- Secção SMT

A produção de componentes eletrónicos inicia-se na secção de SMT (Figura 18). Esta secção é altamente automatizada sendo que, atualmente, existe catorze linhas de SMT, cada uma constituída por cinco subprocessos.

Em primeiro lugar, as placas passam pelo processo *Laser-Marking* onde são gravados os códigos *Quick Response Code*, QRC, nas respetivas placas de circuito impresso (*Printed Circuit Board*, PCB). O propósito deste processo consiste em rastrear o produto ao longo de todo o processo produtivo a fim de ser conhecido o histórico de montagem de cada PCB.

O processo *Offline Programming* destina-se à programação de componentes eletrónicos, designados por IC's (*Integrated Circuit*), segundo as especificações do produto. Posteriormente, estes IC's serão inseridos nas placas eletrónicas, PCBs no processo SMT.

O processo SMT é realizado em linhas de inserção automática de componentes eletrónicos possibilitando, desta forma, uma maior fiabilidade e eficácia na inserção dos componentes nas placas de circuito impresso. Este processo é constituído pelos seguintes subprocessos, *Solder Paste*, *Solder Paste Inspection* (SPI), *SMT/ Pick & Place*, *Reflow* e *Automatic Optical Inspection* (AOI).

Inicialmente, a placa de circuito impresso passa pela máquina *Solder Paste*, onde lhe é aplicada uma camada de pasta de solda para que, posteriormente, seja possível a fixação dos componentes eletrónicos nas placas.

De modo a verificar o cumprimento da qualidade e correta colocação de pasta de solda, as placas são sujeitas a um processo de inspeção 3D denominado *Solder Paste Inspection*.

Depois de inspecionado, a placa de circuito impresso segue para SMT/ *Pick & Place*. Neste processo, as máquinas de *Pick & Place* colocam todos os componentes necessários nas placas de circuito impresso, de forma automática.

Após esta fase, segue-se o processo de soldadura dos componentes no PCB, *Reflow*, na máquina *Oven*.

No final deste procedimento, todas as placas são submetidas a uma inspeção visual, AOI, para garantir que todos os componentes estão bem posicionados e que a soldadura está com qualidade.

Importa ainda referir que após esta etapa alguns produtos são encaminhados para as máquinas Raio-X para verificar se as bolas de solda, que se encontram debaixo de determinados componentes, estão danificadas.

Posto isto, ocorre a inspeção elétrica no processo *In Circuit Test* (ICT), o que significa que os componentes inseridos nas placas de circuito impresso são agora testados segundo um conjunto de testes elétricos, de acordo com os seguintes critérios: presença-ausência de componentes, polaridade e valor de curto-circuito ou circuito aberto.



Figura 18 – Principais processos da secção SMT.

Fonte: Adaptado de *Surface-Mount Technology (SMT)*, <http://samindo.com/process/>.

- Secção CBA

Após o processo SMT, alguns produtos são direcionados para a secção *Circuit Board Assembly*, CBA, visto que esta é responsável pela montagem manual de componentes eletrónicos de maiores dimensões (Figura 19). O complexo fabril da Aptiv, em Braga, pretende reduzir cada vez mais esta secção, visto que o *handling* (manuseamento de material com as mãos) assume um dos maiores problemas relacionados com o aparecimento de componentes danificados.

A secção CBA começa com o corte do excesso de placa que serve de suporte ao PCB, separando as placas eletrónicas dos *arrays*, através do processo de *Blade Singulation* ou de *Milling*, dependendo do produto em questão.

De seguida, as placas seguem para a linha de montagem onde os componentes são inseridos de forma manual e, posteriormente, encaminhados para o processo denominado *clinch*, onde ocorre a fixação mecânica. Ainda nesta secção, as placas de circuito impresso vão para o processo de Soldadura por onda e, no final, são visualmente inspecionadas na *Automatic Visual Inspection*, AVI.

Consoante o produto em causa, os PCBs podem ainda passar pela zona de *Sub-Assembly*, onde se realiza a pré-montagem das placas com outros componentes e também pela zona de *Coating* ou *Potting*. Neste último procedimento são aplicadas às placas um revestimento de verniz transparente que visa proteger as mesmas contra o risco de danificação por humidade, variações de temperatura e turbulência que o produto poderá vir a estar sujeito.

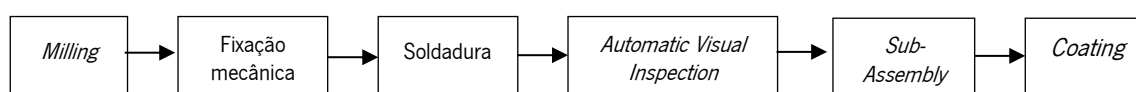


Figura 19 – Processo produtivo da secção CBA.

De seguida, as placas seguem para a secção de montagem final.

- Secção Montagem Final

O processo Montagem Final tem o propósito de concluir a montagem do produto tendo em conta as especificações do cliente (Figura 20). De uma forma geral, neste processo as placas são encaminhadas para as respetivas linhas de montagem final, cujas funções desempenhadas neste local estão relacionadas com o aparafusamento, colocação de esponjas protetoras, conexão dos cabos (fios condutores), montagem de peças, colocação das etiquetas, entre outras operações que podem variar consoante o produto que está a ser produzido. Adicionalmente, segue-se o processo *Gapfiller*. Esta operação, consiste em inserir uma pasta azul em determinados componentes, uma vez que os produtos estão sujeitos a diversas variações de temperatura quando utilizados nas viaturas e, por isso, a fim de evitar o sobreaquecimento do produto esta pasta serve para dissipar o calor.

Após a montagem, o produto é posteriormente submetido a testes de controlo de qualidade, de modo a averiguar e assegurar o correto funcionamento do rádio. Em primeiro lugar, os aparelhos são inseridos nas máquinas de teste intituladas por *Automatic Functional Test* para verificar se os mesmos estão a funcionar apropriadamente a nível de *software*. Posteriormente, os aparelhos são também encaminhados para o sistema *Customer Mechanic Interface* (CMI) para testar o produto a nível mecânico.

O produto é ainda submetido a uma última inspeção visual que permite verificar se existe alguma não conformidade nos aparelhos, tais como peças danificadas, riscos, entre outros aspetos.

Para finalizar, após o embalamento, é ainda efetuada uma auditoria aos mesmos, por amostragem, denominada de *Flying Product Audits*. Esta tem o propósito de examinar o produto para garantir que apenas os aparelhos conformes chegam ao cliente.

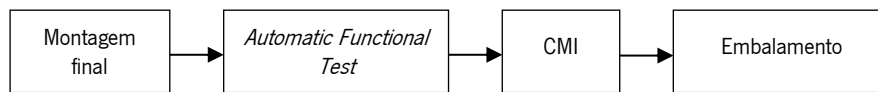


Figura 20 – Processo produtivo da secção Montagem Final.

Área produtiva: Edifício 2

O edifício 2 está dividido em três unidades produtivas, nomeadamente, produção de componentes de plástico, montagem final de componentes eletrónicos, focada no segmento *Infotainment*, e produção de módulos eletrónicos, especializada no segmento *Connectivity & Security*. O *layout* deste edifício está representado na Figura 21.

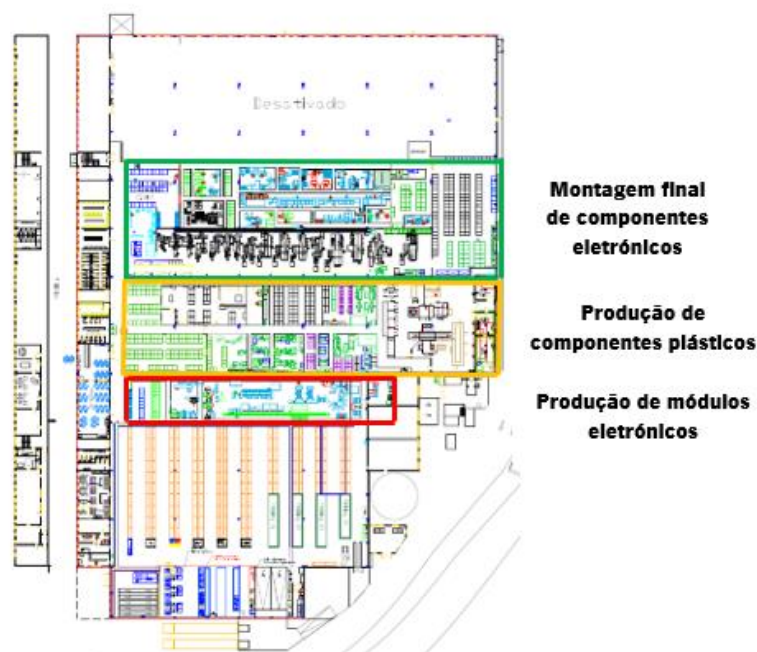


Figura 21 – *Layout* edifício 2.

- Produção de Componentes de Plástico

Esta unidade produtiva é responsável pela produção de componentes plásticos. Estes componentes, quando finalizados, são direccionados para a área produtiva eletrónica para serem integrados no produto final no processo de montagem dos componentes eletrónicos.

Como está apresentado no *layout* da Figura 22, esta área encontra-se dividida em três secções principais, nomeadamente, Injeção, Pintura e Montagem Final. É de salientar que apesar da grande maioria dos

materiais produzidos serem encaminhados para as três secções, alguns produtos depois de passarem pelo processo de injeção seguem diretamente para a montagem final.



Figura 22 – Layout área produtiva dos componentes plásticos.

A Injeção consiste na primeira etapa do processo produtivo da área dos componentes plásticos, cuja função é fornecer componentes plásticos necessários para a montagem final. Esta secção é composta por máquinas de diferentes tonelagens e com distintas características de injeção, sendo que são injetadas, principalmente, peças como teclas, botões e blendas.

Concluída a Injeção, algumas peças seguem para a secção de Pintura. Esta secção engloba a zona de *kitting* (preparação do material), pintura e inspeção.

Seguidamente, as peças são encaminhadas para a montagem final, na qual ocorre a montagem manual de *trimplates* e botões, gravação a laser e, por último, a inspeção dos produtos acabados.

- Montagem Final de Componentes Eletrónicos

Esta unidade produtiva, montagem final de componentes eletrónicos, é idêntica à área de montagem final existente no edifício 1 e, por isso, é considerada uma área complementar.

Neste sentido, esta secção é responsável pela montagem final de alguns produtos, uma vez que é aqui que ocorre a integração dos componentes eletrónicos com os componentes plásticos. Após a conclusão da montagem final do produto, este é sujeito a testes de qualidade e, por fim, passa para o embalamento.

- Produção de Módulos Eletrónicos

Nesta área, como o próprio nome indica, ocorre a produção de módulos eletrónicos. Estes são sistemas compostos por diversos componentes eletrónicos, cuja função é controlar a parte elétrica do carro sendo,

por isso, responsáveis pelo controlo de certos periféricos do automóvel. Os módulos integram duas placas, a placa Eletrónica e a placa *Power*.

O processo produtivo da placa Eletrónica começa no edifício 1 (Figura 23). Assim, a placa é direcionada para a secção de SMT, onde ocorre a inserção automática de componentes eletrónicos, e segue para a secção CBA, onde a placa eletrónica passa pelo processo de *Singulation* e segue para ICT.

Posto isto, as placas são levadas para o edifício 2 onde, numa fase inicial, ocorre a pré-programação da mesma, no processo *Middle of line Tester* (MOL) e, de seguida, são encaminhadas para o processo PCB *Cleaning*. Por último, ocorre o processo *Coating*, que visa proteger a placa contra possíveis adversidades, tais como, a humidade, as variações de temperatura e os resíduos. Depois deste posto seguem para a câmara de exaustão, onde todas as placas ficam a secar no mínimo meia hora.

A placa *Power* passa, em primeiro lugar, pela máquina *Laser Marking*, onde ocorre a gravação do código Quick Response. Posteriormente, avança para a linha de CBA, mais concretamente, para a linha de inserção automática de componentes, onde ocorre a fixação dos mesmos e, de seguida, dirige-se para a soldadura por onda. Quando estas operações estiverem finalizadas, a placa *Power* é encaminhada para a AOI, onde é submetida a uma inspeção visual.

A posteriori, já na montagem final, estas placas são testadas em ICT e seguem para a zona de inserção de fusíveis. No final deste último processo, é essencial que as placas sejam conduzidas para a AVI, uma vez que é neste posto que é realizado um teste visual aos fusíveis inseridos.

Quando os processos da placa *Power* e da placa Eletrónica, anteriormente referidos, estiverem concluídos, estas seguem para o *Press-Fit* (PF), local onde dar-se-á a junção das placas num único módulo.

Ainda na Montagem Final, este módulo é etiquetado, programado e testado, sendo que neste último posto, é realizado através da simulação de todas as funcionalidades do módulo com o objetivo de detetar componentes danificados nas placas constituintes. Para finalizar, procede-se ao embalamento do módulo.

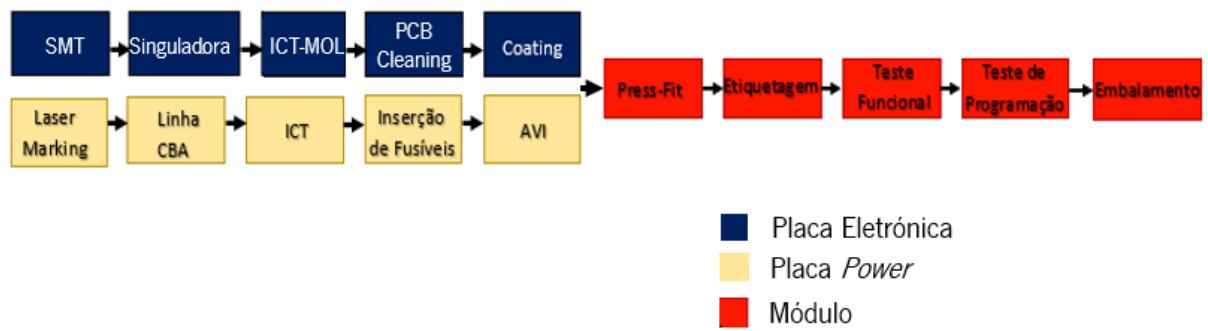


Figura 23 – *Process Map* da placa *Power* e Eletrônica.

4 PROJETO SEIS SIGMA – REDUÇÃO DE COMPONENTES DANIFICADOS

Neste capítulo, é apresentado um projeto de melhoria Seis Sigma, estruturado segundo a metodologia DMAIC. O projeto foi desenvolvido na empresa Aptiv, mais concretamente no edifício 1, nas três principais áreas de produção: inserção automática de componentes eletrónicos (*Surface Mount Technology*, SMT), inserção manual de componentes eletrónicos (*Circuit Board Assembly*, CBA) e montagem final (*Final Assembly*, FA) e no edifício 2 na área de produção de módulos eletrónicos. Este projeto tem o propósito de mitigar o aparecimento de componentes danificados.

4.1 Definição do Projeto

Qualquer projeto de melhoria deve ser iniciado com a fase de planificação. Delinear o problema ou oportunidades de melhoria, definição dos objetivos de negócio e seleção dos membros da equipa são algumas atividades que devem ser respondidas de forma transparente antes de se prosseguir para atividades mais complexas.

De forma particular, o presente estudo iniciou-se com a definição e seleção de um projeto que fosse aliciante para o autor e que, simultaneamente, agregasse valor para a empresa. Neste sentido, para selecionar o melhor projeto, teve-se em consideração que a Aptiv procura continuamente reforçar e aprimorar o seu compromisso em atingir os padrões de qualidade e de fiabilidade exigidos pelos seus clientes, de forma a garantir que os produtos primem pela sua qualidade e segurança.

Como consequência desta necessidade, as partes interessadas reconhecem a importância de reduzir o número de componentes danificados que tendem a aparecer ao longo do processo produtivo.

De forma a evidenciar a existência do problema anteriormente mencionado, procedeu-se a uma análise preliminar dos dados. Primeiramente, com o intuito de se obter uma visão global da evolução da empresa no que diz respeito a esta problemática, analisou-se o gráfico da Figura 24. A métrica utilizada é Partes Por Milhão (PPM).

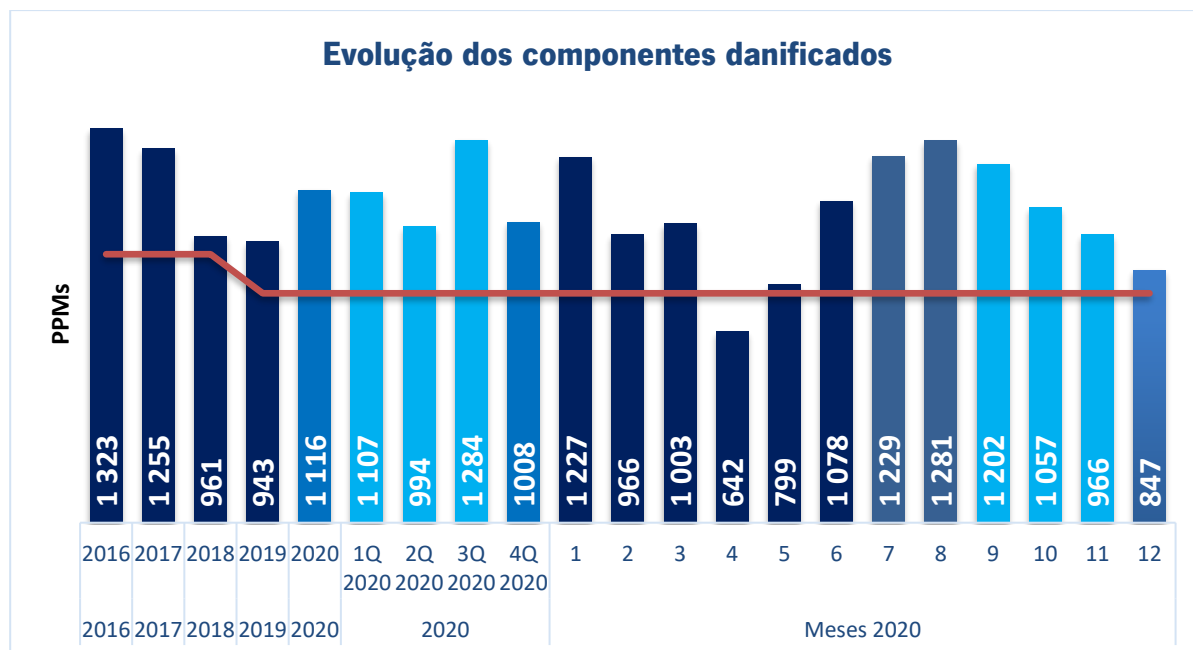


Figura 24 – Evolução dos componentes danificados, em PPM.

Tendo em conta os dados obtidos no gráfico acima verifica-se que, nos últimos meses de 2020, o número de componentes danificados, em termos de PPMs, tem vindo a diminuir, sendo que do 3Q (*Quarter*) 2020, 1 de julho de 2020 a 30 de setembro de 2020, para o 4Q 2020, 1 de outubro de 2020 a 31 de dezembro de 2020, constatou-se uma redução de 276 PPMs.

A empresa apresenta uma tendência decrescente no final de 2020. Todavia, comparando o ano 2020 com 2019, verifica-se um aumento considerável de componentes danificados. É de notar que ao longo do ano de 2020, a Aptiv, encontrou-se acima do *target* definido pela mesma, 769 PPMs, com exceção do mês de abril, o que reflete a existência de um problema para a empresa.

Após esta análise, definiu-se o período 4Q de 2020 como a situação atual da empresa, uma vez que corresponde ao período temporal mais recente aquando o início do estágio do autor. Além disso, optou-se por escolher 3 meses para que os dados sejam o mais representativo da realidade.

Posto isto, a equipa estabeleceu como objetivo do projeto reduzir, em termos de PPMs, 15% do número de componentes danificados, o que significa que deverão ser implementadas ações para um *gap* de 151 PPMs. A Figura 25 apresenta a meta a que o autor se propôs atingir.

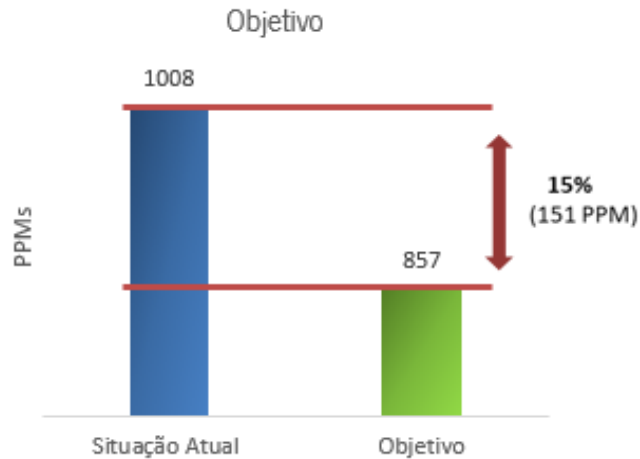


Figura 25 – Definição do objetivo do projeto.

O valor referente à situação atual, exibido na figura acima, foi conseguido através do recurso à equação 5.

$$PPM = \frac{\text{Número de ocorrências}}{\text{Número total de unidades produzidas}} \times 10^6 = \frac{1610}{1596516} \times 10^6 = 1008 \text{ PPM} \quad (5)$$

A posteriori, optou-se por fazer uma análise mais pormenorizada às famílias de produtos. Através do diagrama de Pareto, representado na Figura 26, verificou-se que existem dois produtos críticos, que serão denominados por produto A e produto B. Tendo em conta a regra 80/20, estes dois produtos apresentam um elevado número de componentes danificados comparativamente aos restantes. Este facto é justificado por serem projetos muito recentes e, por isso, os seus processos ainda não se encontram estáveis. Além disso, estas duas famílias de produtos têm um elevado volume de produção. Deste modo, o autor selecionou o produto A e B para serem o foco do seu projeto.

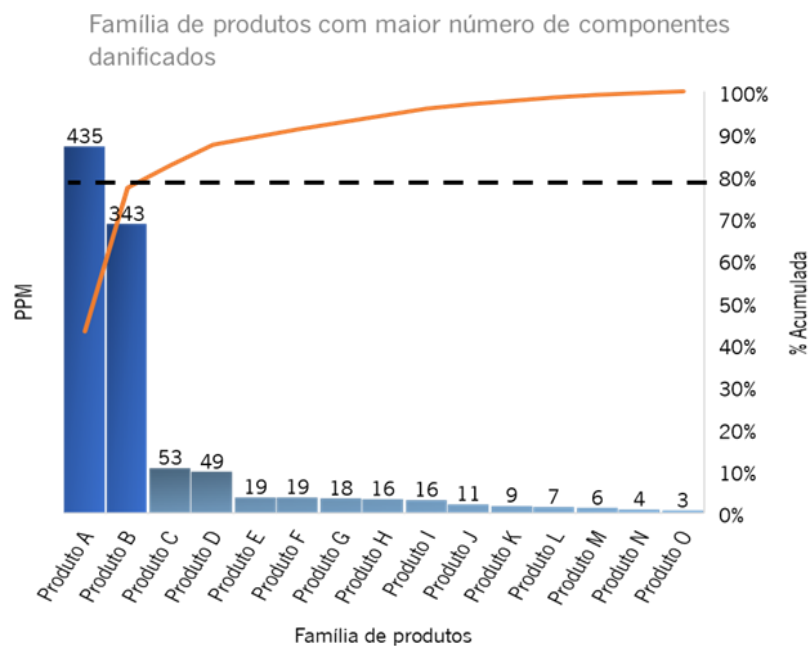


Figura 26 – Componentes danificados, em PPMs, por família de produto.

Um outro aspeto relevante é o impacto destes dois produtos para o negócio da empresa. Assim, analisou-se, em termos monetários, a evolução dos custos relativos aos componentes danificados para cada produto selecionado, ao longo de 2020, Figura 27 e Figura 28.

Em relação ao produto A, a empresa no ano 2020 suportou um custo de 32.658,00€ (trinta e dois mil seiscientos e cinquenta e oito euros) devido ao aparecimento de placas com componentes danificados. Comparando o 3Q 2020 com a situação atual (4Q 2020), observa-se uma tendência decrescente, o que se traduz num impacto positivo para a empresa, apesar de, ainda assim, ser um custo bastante elevado.

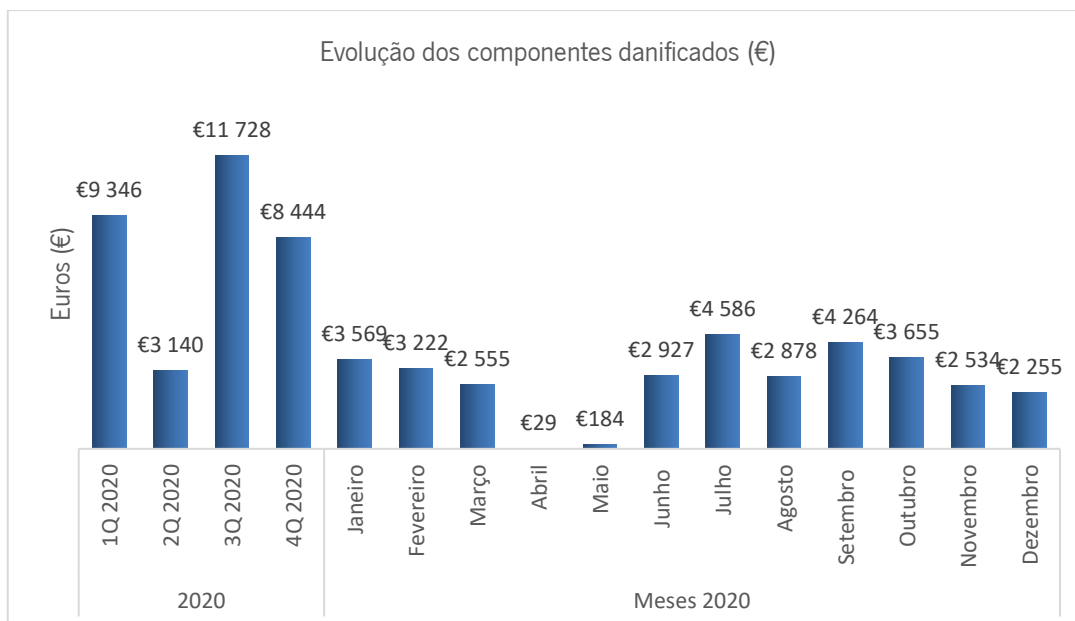


Figura 27 – Evolução dos componentes danificados, do produto A, ao longo de 2020.

No que diz respeito ao produto B, no ano 2020, a empresa teve um custo de 6.052,00€ (seis mil e cinquenta e dois euros) no que confere aos componentes danificados. Do 3Q 2020 para o 4Q 2020, a evolução dos custos é crescente, o que se traduz num impacto negativo para a empresa.

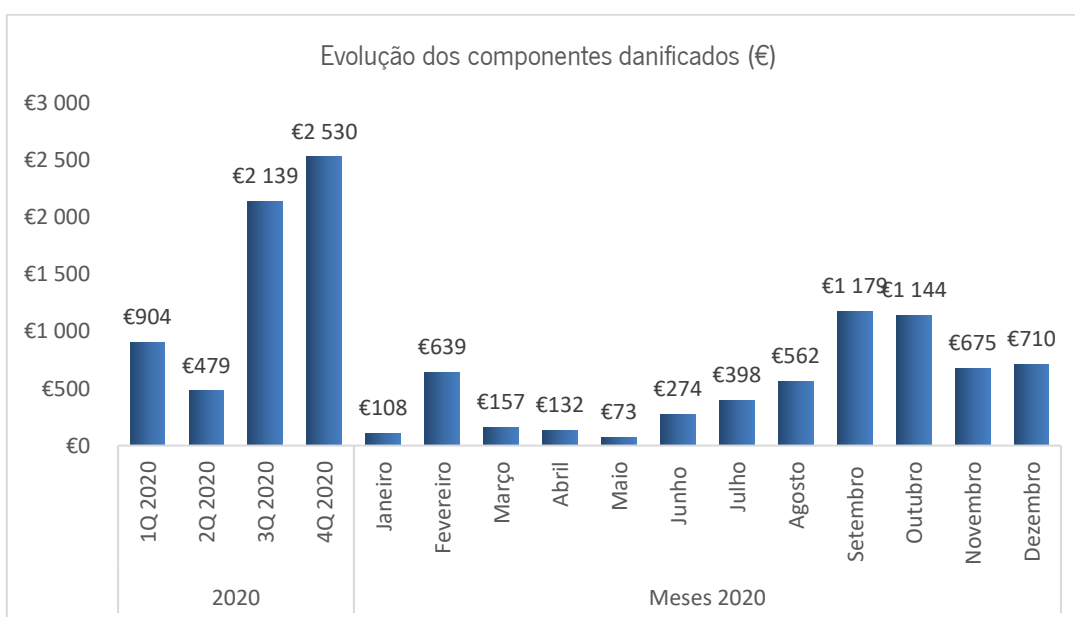


Figura 28 – Evolução dos componentes danificados, do produto B, ao longo de 2020.

De notar que se um componente do produto A for danificado depois do processo de *Coating*, o produto vai diretamente para refugo, enquanto se ocorrer antes deste processo, o componente pode ser retrabalhado. No que diz respeito ao produto B, como este não passa pelo processo de *Coating*, é direcionado para a área de retrabalho. Este facto também justifica a elevada diferença entre os custos

destes dois produtos. Pressupõe-se que, se a placa for para refugo, a empresa suporta um custo de 28,00€ (vinte e oito euros), porém se esta for retrabalhada existe um custo de, aproximadamente, 3,00€ (três euros).

Para cumprir com o objetivo anteriormente proposto pelo autor, foram ainda estabelecidos dois objetivos mais específicos. Como tal, a equipa propôs, em termos de PPM, uma redução de 20% dos componentes danificados de cada família de produto, A e B, como está ilustrado na Figura 29.

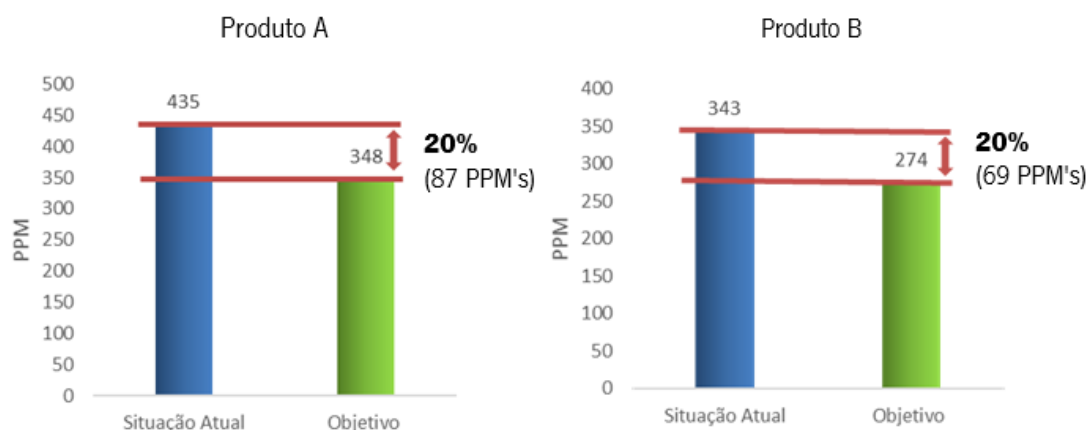


Figura 29 – Definição do objetivo para os produtos A e B.

A estratégia consistiu em mitigar, principalmente, os componentes mais danificados do produto A e B, pois permitirão resolver grande parte da problemática em estudo. É de realçar que, mesmo optando por esta estratégia, as melhorias que poderão surgir, podem levar à redução do aparecimento de outros componentes danificados, pois alguns apresentam características comuns.

Dentro do complexo industrial da Aptiv, o projeto decorreu no edifício 1, nas áreas produtivas de SMT, CBA e FA e, no edifício 2, na área de produção de módulos eletrónicos. Para a realização de um projeto com esta magnitude foi essencial formar uma equipa multidisciplinar pois, desta forma, a diversidade de opiniões e conhecimentos possibilita alcançar melhores resultados para o projeto. Neste sentido, a equipa é constituída pelo gestor de qualidade, coordenador responsável pela melhoria contínua, gestor responsável pela qualidade do produto, engenheiro responsável pela produção e pelo líder do projeto (autor desta dissertação). Este projeto contou com o principal envolvimento do Departamento de Qualidade, em parceria com os Departamentos de Engenharia Industrial, Operações e Manutenção.

Desta forma, cada departamento representado contribui com diferentes perspetivas diante do mesmo problema. Assim, se por um lado promove a criatividade e cooperação entre toda a equipa, por outro,

visa a implementação eficaz de medidas preventivas na mitigação e, se possível, a eliminação da ocorrência de componentes danificados.

A equipa definiu como indicadores de desempenho o *First Time Quality* (FTQ), que é responsável por avaliar o nível de qualidade de um processo e o valor monetário dos componentes danificados. O FTQ mede o número de produtos ou peças rejeitadas num processo de produção pelo número de produtos ou peças submetidas para teste. O valor é sempre expresso em PPM.

Com o presente projeto espera-se alcançar processos mais estáveis, com resultados transversais aos restantes produtos. Para além disso, pretende-se melhorar os indicadores de qualidade e produtividade, diminuindo a quantidade de unidades retrabalhadas e os custos avultados de não qualidade. Como resultado do projeto, a equipa pretende otimizar os processos e entregar documentos como instruções de trabalho e *quality alerts* para garantir a sustentabilidade das ações implementadas.

Para que o projeto seja bem sucedido é fundamental existir uma orientação clara do projeto desde o seu início e, por isso, utilizou-se a ferramenta *Project Charter*, tal como está exposto na Figura 30.

• APTIV •

Project Charter

Project Title	Definição e implementação de um projeto de melhoria numa empresa da indústria automóvel.				
Problem Statement	A empresa Aptiv Braga confronta-se, diariamente, com um elevado número de componentes danificados ao longo do processo produtivo do edifício 1 e 2. Entre os meses de outubro a dezembro de 2020, a empresa encontrava-se a 239 PPMs acima do <i>target</i> definido, sendo que a família de produtos A e B apresentavam um elevado número de componentes danificados. Durante este período, considerando apenas estes dois produtos, a empresa teve um prejuízo de 10974€.				
Business Case	Os componentes danificados são considerados um problema para a empresa, visto que estes causam a insatisfação do cliente e originam custos de não qualidade, associada ao retrabalho das unidades. Neste sentido, adotou-se a metodologia DMAIC com o objetivo de compreender e colmatar a problemática em estudo.				
Project Scope	Todos os processos do produto A e B.				
Goal	O principal objetivo deste projeto consiste em mitigar o aparecimento de componentes danificados. Assim, estipulou-se reduzir, em termos de PPMs, 15% dos componentes danificados obtidos entre os meses de outubro a dezembro de 2020. Não obstante, pretende-se ainda reduzir 20% de PPMs dos componentes danificados referentes aos produtos A e B. Como resultado deste projeto pretende-se melhorar o indicador FTQ, diminuindo a quantidade de unidades retrabalhadas e os custos avultados de não qualidade.				
Leveraging Opportunities	Instruções de trabalho dos processos, relatórios de controlo dos processos, artigos científicos relacionados com este projeto e documentos com soluções já implementadas na organização como o manual " <i>Handling Care</i> ".				
Deliverables	Otimização dos processos, instruções de trabalho e <i>quality alerts</i> .				
Project Type	CONTINUOUS IMPROVEMENT Six Sigma				
Milestones	Define	Measure	Analyze	Improve	Control
Target Date	dezembro	dezembro-janeiro	fevereiro-março	abril-maio	junho

	Nome
Project Sponsor	Gestor de qualidade
Project Team Leader	Raquel Chaves
Team Members	Coordenador responsável pela melhoria contínua; gestor responsável pela qualidade do produto; engenheiro responsável pela produção;

Figura 30 – Project Charter.

De seguida, apresenta-se a descrição do problema.

A produção de PCBs implica a colocação de um elevado número de componentes em posições precisas (Ma *et al.*, 2021). Cada vez mais, devido à miniaturização, tem-se assistido à redução do tamanho dos componentes, do espaçamento entre estes, bem como ao aumento da sua densidade. Deste modo, a multiplicidade de defeitos e falhas aumenta significativamente (Allen, 2019).

Os componentes das placas de circuito impresso são elementos elétricos complexos dos quais fazem parte as resistências, condensadores, díodos, IC's, *transistors*, fusíveis, entre outros. Entre os diferentes modos de falha, o presente projeto centrar-se-á apenas nos componentes danificados, cuja falha pode ocorrer ao longo de toda a área produtiva. Importa referir que se considera por componentes danificados, todos os componentes de SMT que sofrem uma pressão física ou choque. A título exemplificativo, esta pressão pode ocorrer nos processos, no transporte ou devido ao inadequado manuseamento das placas.

No âmbito da descrição do problema, os componentes danificados são detetados/rejeitados em CBA, no *quality gate* ICT, e em FA, no *quality gate* FT. Os *Quality Gates* ou “portas de qualidade” são etapas de inspeção, implementadas ao longo do processo, com o objetivo de assegurar o cumprimento dos critérios predefinidos e necessários para que os defeitos não se propaguem para os postos de trabalho seguintes.

De notar que, quando os *quality gates* de qualidade detetam componentes danificados, as placas são encaminhadas para os analistas, sendo estes responsáveis por identificar e registar o componente danificado na ferramenta Gen3Ui que, por sua vez, está sincronizada com a ferramenta *Production & Yield Monitoring System*, PYMS (Figura 31).

Production & Yield Monitoring System (PYMS)

Step	Tested qty	Failed	Yield(%)	FTQ	Extra Info
AOI-THT	1037	49	95,27	47252	
ICT-Main	880	6	99,32	6818	
ICT-Others	650	13	98	20000	
AVI	864	8	99,07	9259	
MOL	831	3	99,64	3610	
CFOA	631	8	98,73	12678	
PR	613	0	100	0	
CMI	610	0	100	0	
			90,37	96259	

Figura 31 – Ferramenta *Production & Yield Monitoring System*.

Estas duas ferramentas possibilitam aos usuários terem acesso à rastreabilidade do produto, dando informações como a data e hora em que a placa passou em cada processo, o resultado do teste e o modo de falha, como está apresentado na Figura 32. Esta informação é deveras importante, dado que auxilia na identificação de padrões que possam indicar a causa raiz de um determinado componente danificado.

bid	Station	Jig/Nest	Customer label	PackBox	Time	Result	Qty	Failure	Module Name	Actions
9111162234000800	ICT--024	PSABSIEB07-170			12/06/2021 06:34:20	PASS	1		PSA BSI Wave3 E4 Electronic	TraceFIS
9111162234000800	MOL--004/0				14/06/2021 06:38:22	PASS	1		PSA BSI Wave3 E4 Electronic	TraceFIS
9111162234000800	PCOAT-LN12-1				14/06/2021 06:54:06	PASS	1		PSA BSI Wave3 E4 Electronic	TraceFIS
91111622340015	PFIT-LN12-4				14/06/2021 07:27:04	PASS	1		PSA BSI Wave3 E4	TraceFIS
9111162234000800	PFIT-LN12-4				14/06/2021 07:27:04	PASS	1		PSA BSI Wave3 E4 Electronic	TraceFIS
91111622340015	ET-LN12-1				14/06/2021 07:29:54	PASS	1		PSA BSI Wave3 E4	TraceFIS
91111622340015	FT-LN12-1	EC0000144ACF8301			14/06/2021 07:31:30	FAIL	1	Signal DEFAULT_DL_PORTS	PSA BSI Wave3 E4	TraceFIS
	In Station Retest				14/06/2021 07:32:00	system			Retest	
91111622340015	FT-LN12-4	EB0000184215D101			14/06/2021 07:31:59	FAIL	1	Signal DEFAULT_DL_PORTS	PSA BSI Wave3 E4	TraceFIS
	Repair				14/06/2021 08:03:00	lourenco		R4510 Danificado (refugo)	Montagem	

Figura 32 – Informações obtidas através da ferramenta PYMS.

No que concerne à descrição dos produtos selecionados para o presente projeto, destaca-se que estes são dois produtos *highrunner* da empresa por apresentarem um grande volume de produção em comparação com os restantes. O produto A tem como função controlar determinados periféricos do automóvel, desde a climatização, sistemas de diagnóstico e instrumentos do veículo. Este módulo é constituído por duas placas: a placa *Power* e a placa Eletrónica.

O produto B pertence à família dos *infotainments* e consiste num rádio que incorpora diversas funcionalidades e recursos distintos do mercado, o que proporciona aos usuários novas experiências. Este é constituído por duas placas, nomeadamente a RSC e a MMX.

É de salientar que existe uma maior percentagem de componentes danificados nas placas principais. Como as placas secundárias apresentam uma quantidade mais reduzida de componentes danificados, então existe um menor risco de provocar danos no produto.

Tendo em conta que a placa Eletrónica do produto A e a RSC do produto B são consideradas as placas principais dos seus respetivos produtos, o presente projeto centrar-se-á apenas nestas duas placas, como ilustrada na Figura 33.

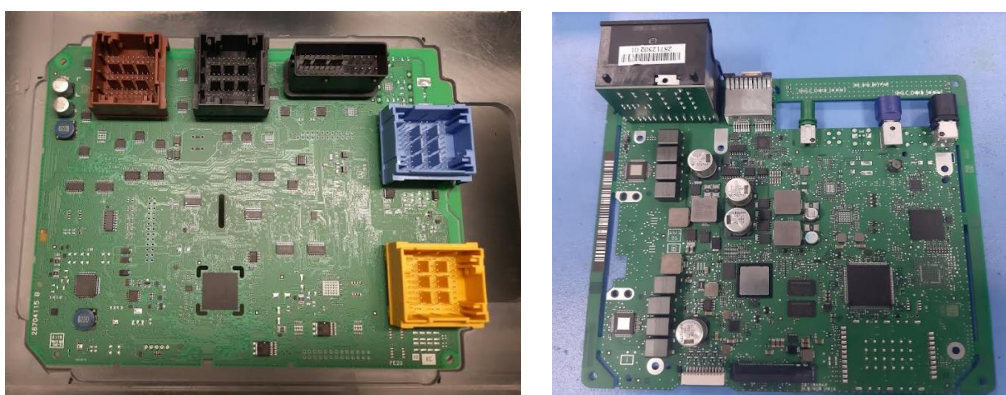


Figura 33 – Placa Eletrónica e RSC, dos produtos A e B, respetivamente.

Com o propósito de se obter uma perspetiva geral e clara do processo produtivo do produto A e B, utilizou-se a ferramenta fluxograma, tal como mostra a Figura 34 e 35, respetivamente. Através desta ferramenta é possível identificar, por exemplo, a sequência das ações, o fluxo de materiais, processos e procedimentos operacionais (área de retrabalho).

Tal como foi mencionado anteriormente, a placa eletrónica do produto A começa a ser produzida no edifício 1 onde, para além dos processos *standard* (SMT), a mesma passa ainda pela secção de CBA (no processo *Singulation*) e, posteriormente, segue para o edifício 2 para *Final Assembly*.

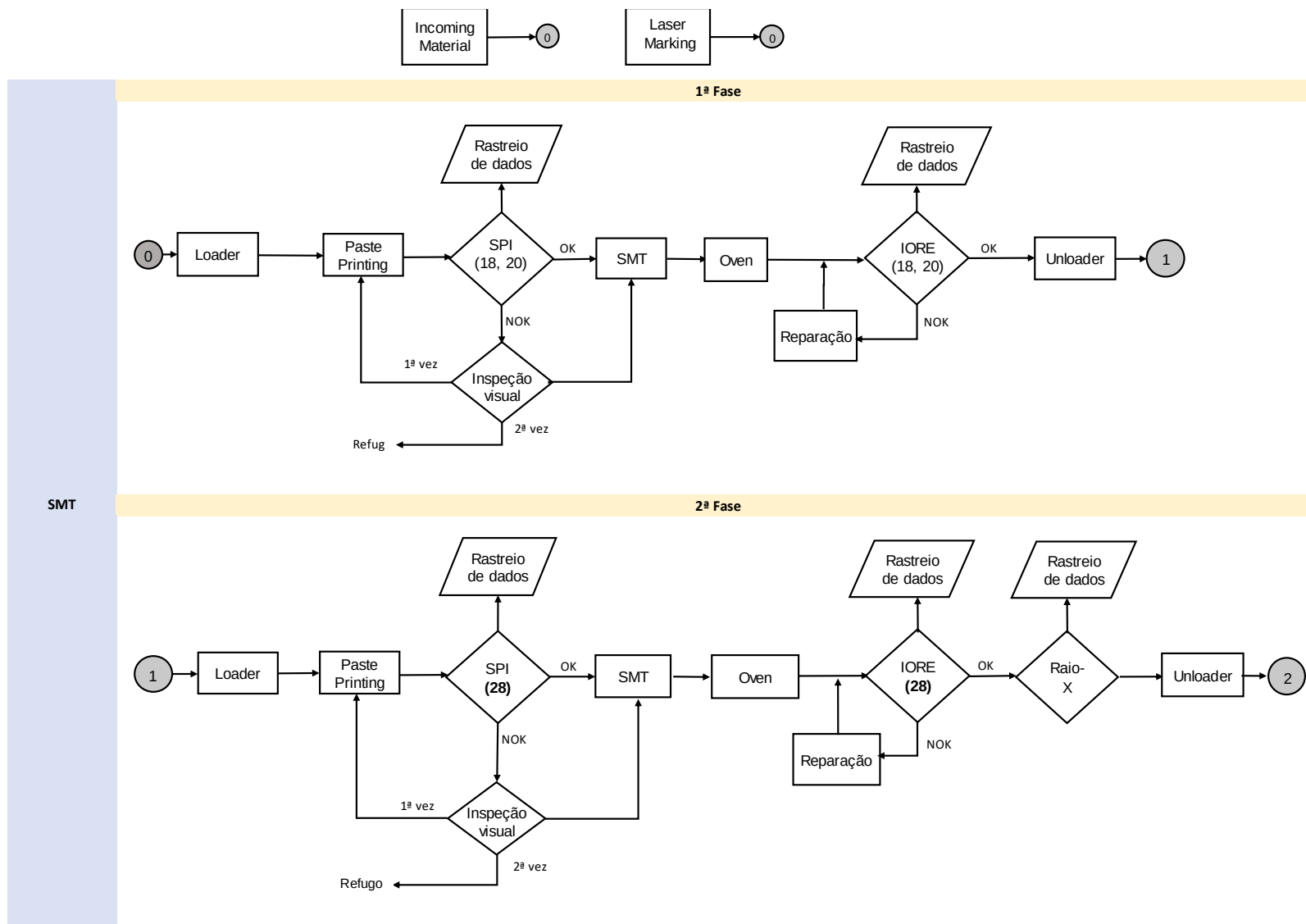


Figura 34 – Fluxograma do produto A.

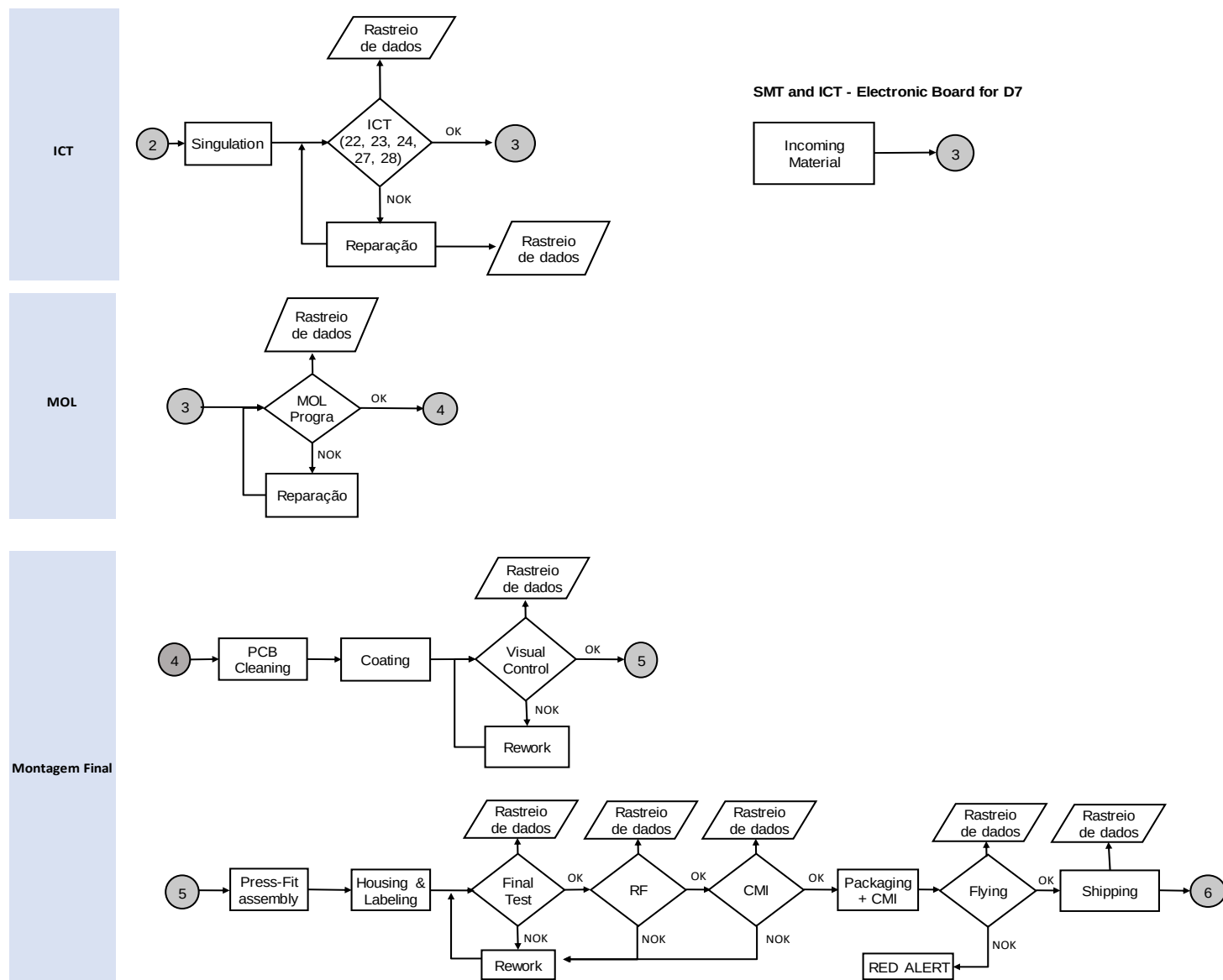


Figura 34 – Continuação.

Relativamente ao produto B, este é produzido apenas no edifício 1 e, tal como acontece com o produto A, para além dos processos *standard* (SMT) passa também pela secção de CBA (ICT e *Milling*) e FA.

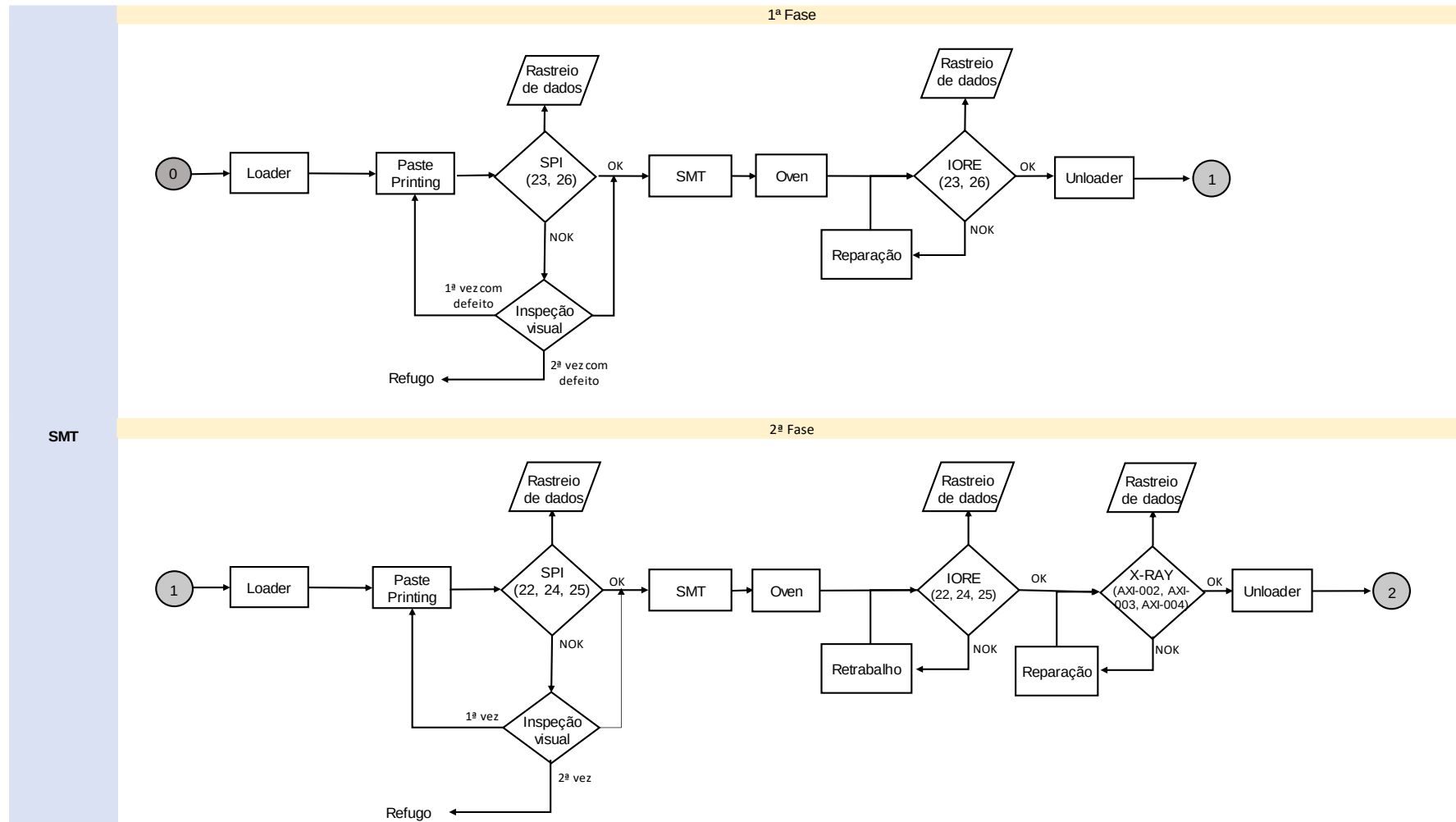


Figura 35 – Fluxograma do produto B.

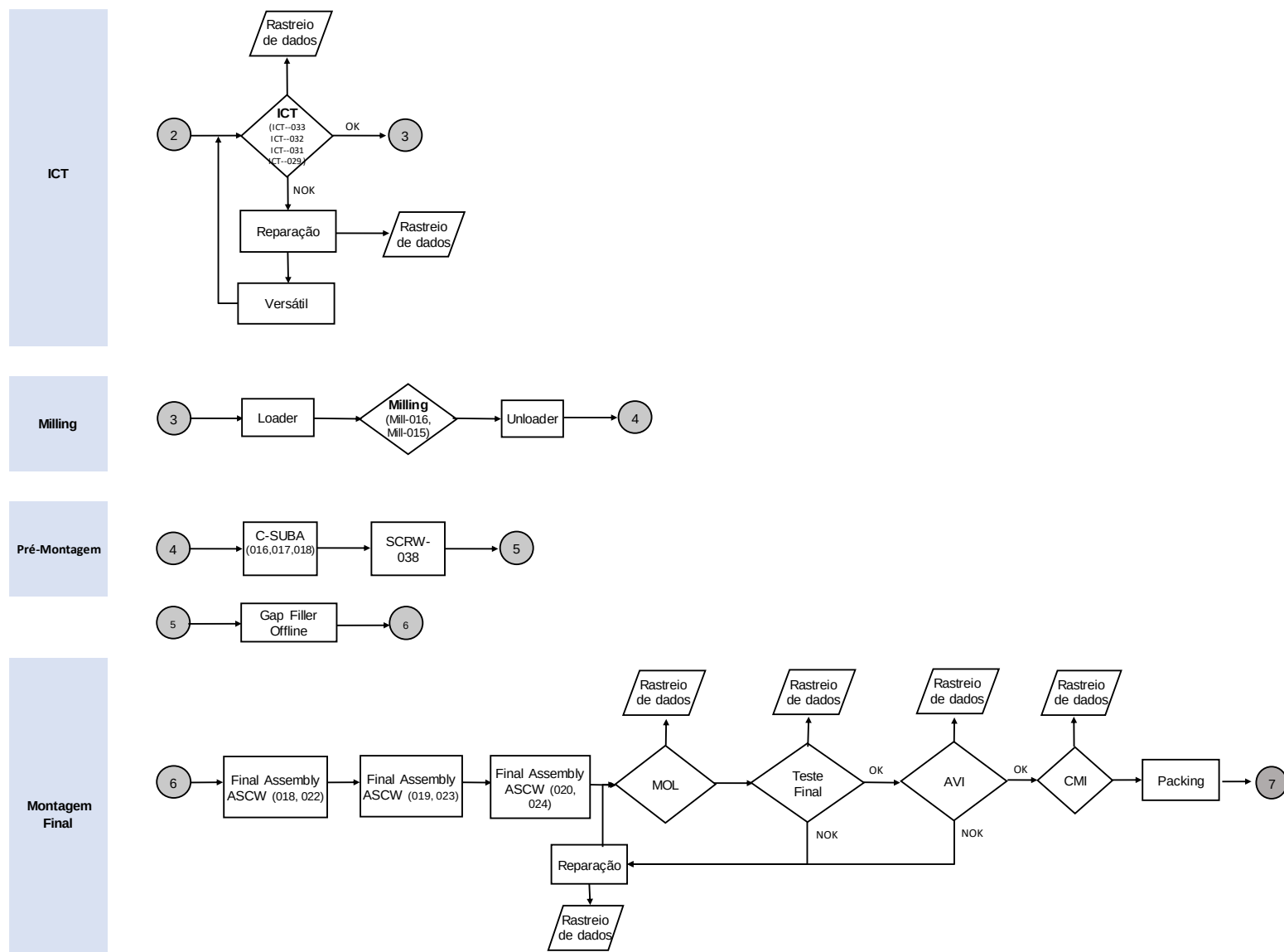


Figura 35 – Continuação.

4.2 Medição do projeto

Depois de serem definidos os requisitos do projeto, segue-se a fase Medir. Esta etapa pretende validar a problemática em estudo e avaliar o estado atual dos processos. Além disso, é importante determinar as áreas de foco e identificar potenciais causas que contribuem para o aparecimento de componentes danificados. Assim, procedeu-se à recolha e análise exaustiva de dados, a fim de adquirir conhecimento suficiente para que, posteriormente, a análise e tomada de decisão seja suportada por dados sólidos e credíveis.

4.2.1 Análise exploratória de dados

Numa primeira instância, torna-se fulcral assegurar que os dados recolhidos são confiáveis, pois os mesmos servirão de suporte à análise da problemática em estudo. Assim sendo, procedeu-se à recolha de dados através da ferramenta PYMS que se encontra incorporada no *Factory Information System*, FIS, este sistema é o pilar que sustenta toda a informação da empresa. Para além disso, utilizou-se a ferramenta Gen3Ui (ferramenta de análise e reparação) e documentos da *Kaizen Team*.

Adicionalmente, de forma a garantir que os sistemas de medição (AOI, ICT e FT) são capazes de fornecer dados com exatidão e precisão, foram consultados os respetivos *Measurement System Analysis*, MSA, do produto A e B, detidos pela empresa. Neste seguimento, constatou-se que o sistema de medição é classificado como capaz, uma vez que os valores de %R&R, para todos os testes analisados, estão abaixo do limite de 10%.

Outro documento analisado foi o *Test Coverage Analysis*, TCA. Este teste visa identificar possíveis lacunas nos processos de teste, para garantir que todos os componentes são inspecionados. Como é sabido, os equipamentos estão limitados às suas capacidades físicas e às restrições do próprio produto. No entanto, ao observar o resultado do teste do produto A e B verificou-se que todos os componentes destes produtos conseguem ser detetados pelos testes de inspeção, ao longo do processo produtivo.

Após a validação da precisão dos sistemas de medição e de se verificar que todos os componentes são cobertos por testes de inspeção, torna-se essencial compreender a situação atual dos componentes danificados presentes na empresa.

Na Figura 36 está representado um diagrama de Pareto onde se encontram priorizados os componentes mais danificados dos produtos A e B, para o período 4Q 2020. De acordo com a regra 80/20, constatou-se que os componentes mais críticos são o R4510, L28, L20, D901, C324, C325, D61 e D23, respetivamente.

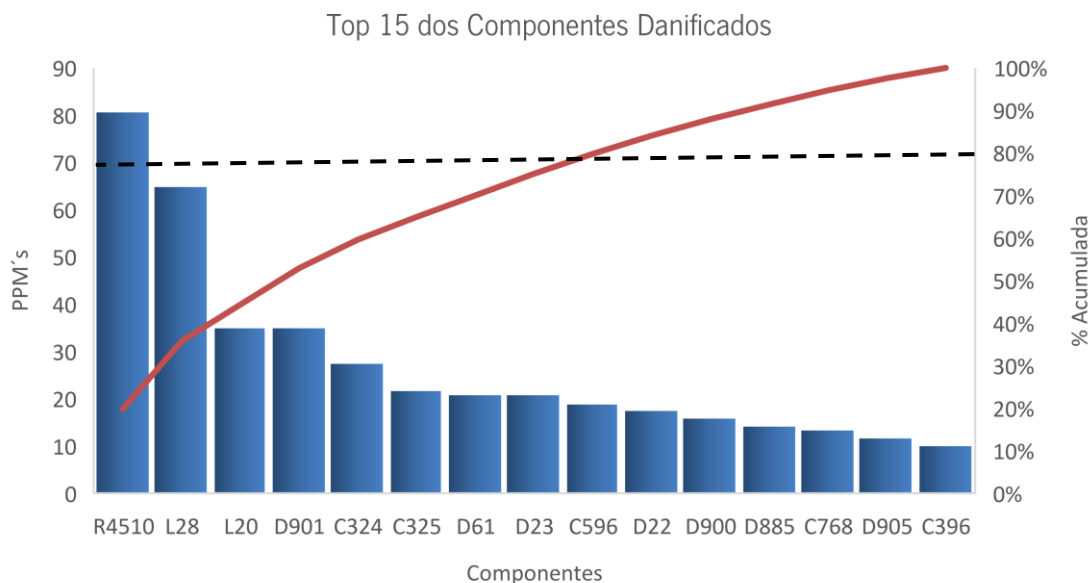


Figura 36 – Principais componentes danificados.

No que diz respeito ao produto A, os componentes mais danificados são o R4510, D901, C324, C325, D61 e D23 e relativamente ao produto B os componentes são L28 e L20.

Seguindo esta linha de pensamento, elaboraram-se dois diagramas de concentração de defeitos para os respetivos produtos A (placa Eletrónica) e B (placa RSC). Através destes diagramas é possível identificar em que zona das placas é que se encontra o maior número de componentes danificados, para o horizonte temporal 4Q 2020, exibido na Figura 37 e 38. O primeiro diagrama representa a parte superior da placa, ao invés do segundo, que ilustra a parte inferior da mesma. Por sua vez, estas encontram-se divididas em 9 áreas distintas. A cada área foi atribuída uma percentagem que traduz o número de componentes danificados existentes no respetivo quadrante comparativamente com os componentes danificados de toda a placa para o mesmo período. Além disso, a cada percentagem é atribuída uma cor, que significa que quanto mais escura for a respetiva cor mais crítica é a zona.

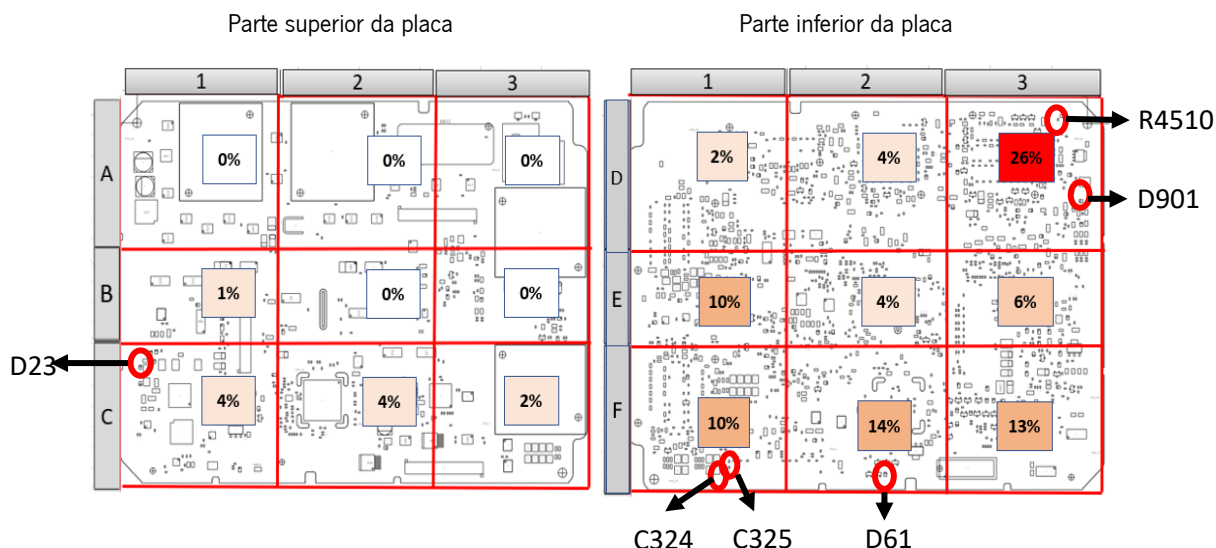


Figura 37 – Diagrama de concentração de defeitos da Placa Eletrônica.

Com base no diagrama acima exposto, pode-se observar que a área D3 apresenta a maior percentagem de defeitos, 26%, e, por isso, corresponde à área mais críticas do PCB.

Tendo em conta os componentes mais danificados, pode-se salientar que os componentes R4510 e D901 estão situados na área D3, o componente D61 está situado na área F2, os componentes C324 e C325 estão situados na área F1 e o componente D23 está situado na área C1.

Assumindo a figura acima como referência, conclui-se que os componentes mais críticos da placa eletrônica localizam-se, principalmente, na parte inferior da mesma, mais concretamente, no canto superior direito da placa.

Com o propósito de identificar algum padrão de defeito foram recolhidas e analisadas todas as placas com componentes danificados, detetados em FT. Assim, para cada placa registou-se o componente danificado, direção de embate e, ainda, analisou-se se o componente foi danificado antes ou depois do processo de *Coating*. No Apêndice 1 encontra-se ilustrado uma parte desta análise.

Relativamente à placa RSC do produto B, os componentes mais danificados são o L28 e L20. Com base no diagrama de concentração, presente na Figura 38, pode-se observar que a área E3 é a mais crítica, com uma percentagem de defeitos de 22%.

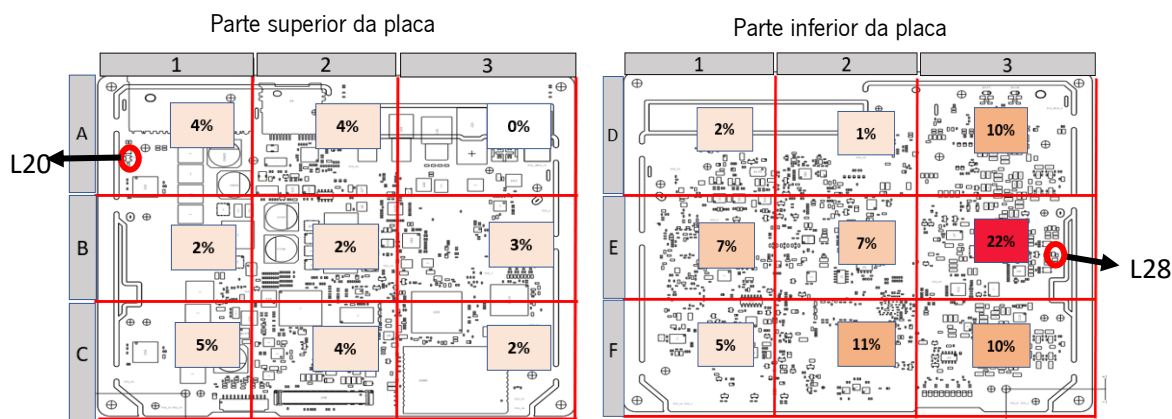


Figura 38 – Diagrama de concentração de defeitos da Placa RSC.

Tendo em conta os componentes mais danificados, pode-se salientar que o componente L28 está situado na área E3 e o componente L20 está situado na área A1.

Tal como acontece com o produto A, o produto B apresenta mais componentes danificados na parte inferior da placa RSC, mais concretamente no lado direito da mesma.

De seguida, apresentar-se-á uma análise detalhada, para cada componente, com o intuito de determinar quais as áreas problemática que serão alvo de estudo na fase seguinte. Destaca-se ainda que a análise a cada componente seguirá a mesma estrutura.

▪ **Componente R4510**

Como foi supramencionado no gráfico da Figura 36, o R4510 é o componente que aparece mais vezes danificado ao longo de toda a área produtiva. Na Figura 39 pode-se observar que 62% dos componentes danificados foram rejeitados nos *quality gates* de ICT e 38% foram rejeitados no FT, na Montagem Final.

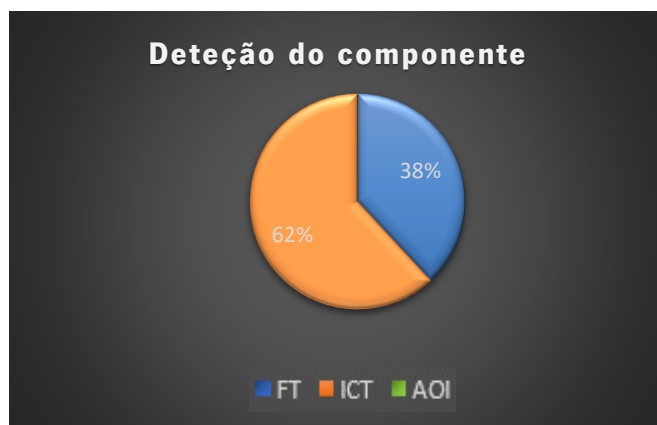


Figura 39 – Deteção do componente R4510.

Através da observação direta às placas danificadas constatou-se que 96% dos componentes foram danificados antes do processo de *Coating* e apenas 4% depois deste processo.

Com base nas evidências anteriormente mencionadas elaborou-se o *process map* ilustrado na Figura 40 para ajudar a equipa na identificação da causa raiz. Nesta figura, estão representados, a vermelho, os processos que serão foco de análise, contrariamente aos que estão mencionados a verde, cujos processos não são considerados problemáticos para a danificação do componente R4510.

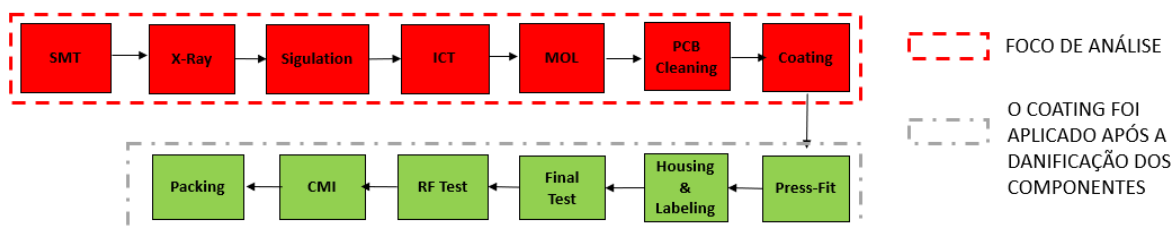


Figura 40 – Análise crítica do *process map* do produto A, para o componente R4510.

Importa referir que a placa em questão passa duas vezes pelo processo SMT, porque é necessário colocar, em primeiro lugar, os componentes na parte inferior da placa e só depois na parte superior da mesma. O *quality gate* AOI está presente no final do processo de SMT, no entanto, o componente em questão só é inspecionado após a inserção dos componentes na parte inferior da placa e, por isso, não se descarta a possibilidade do mesmo ser danificado durante a colocação de componentes na parte superior da mesma (segunda fase). O mesmo acontece para o componente D901, C324, C325, D61 e L28. Assim sendo, a equipa focar-se-á somente nos processos entre SMT e *Coating*.

Foi ainda possível averiguar a direção de embate do componente R4510, através do estudo exibido no apêndice 1. Os valores ilustrados na Figura 41 indicam a percentagem de componentes que foram danificados segundo a direção de embate demonstrada pelas setas.

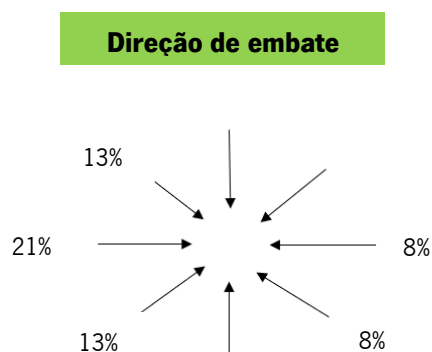


Figura 41 – Direção de embate do componente R4510.

Não obstante, os restantes 37% dos componentes foram arrancados, não sendo possível identificar a direção de embate. Assim, pode-se observar que grande parte do número de componentes são danificados com uma direção de embate da esquerda para a direita.

▪ Componente D901

Através da análise do gráfico da Figura 42, pode-se aferir que 76% dos componentes danificados são detetados nos *quality gates* FT e apenas 24% em ICT.

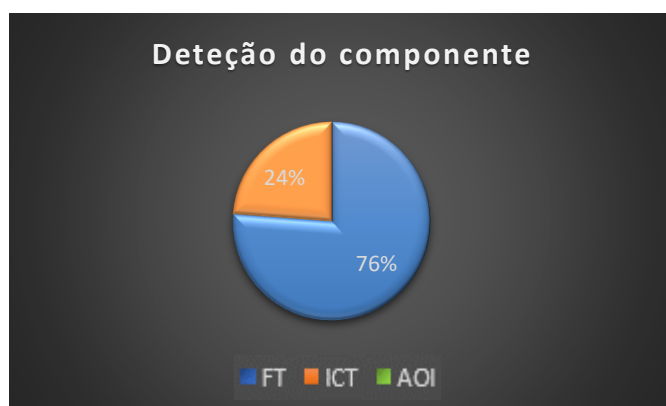


Figura 42 – Detecção do componente D901.

Além disso, de acordo com o estudo realizado às placas danificadas verificou-se que 73% dos componentes foram danificados antes de *Coating* e 27% depois deste processo.

Desta forma, a equipa define que os processos entre SMT e o *Press-Fit* serão estudo de análise, como se pode observar na Figura 43, uma vez que após o *Press-Fit* o módulo/produto já se encontra fechado e, por isso, o risco de danificar os componentes é muito reduzido.

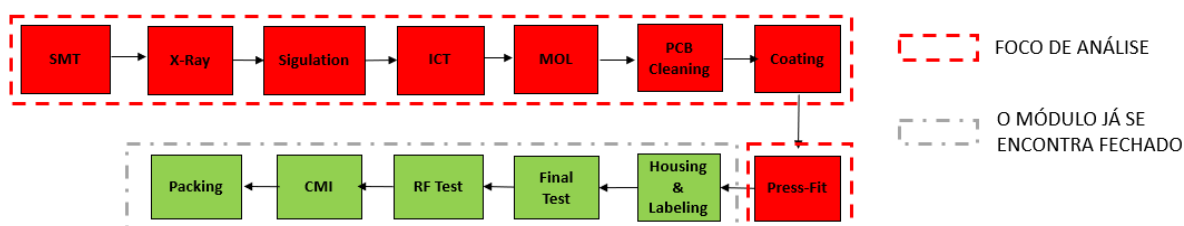


Figura 43 – Análise crítica do *process map* do produto A, para o componente D901.

Através da Figura 44 pode-se verificar que o componente D901 é danificado por um embate do lado direito. Os restantes 31% dos componentes foram arrancados, não sendo possível identificar a direção de embate.

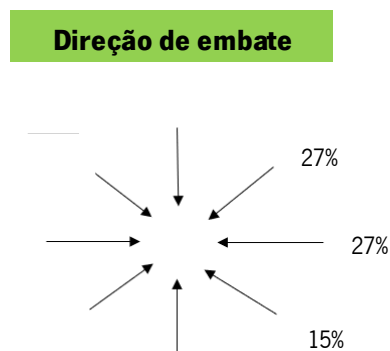


Figura 44 – Direção de embate do componente D901.

▪ Componente C324 e C325

Os componentes C324 e C325 estão localizados no mesmo quadrante e por apresentarem bastantes semelhanças entre si serão analisados em simultâneo. Estes componentes apenas são detetados no *quality gate* ICT, tal como está representado no Figura 45.

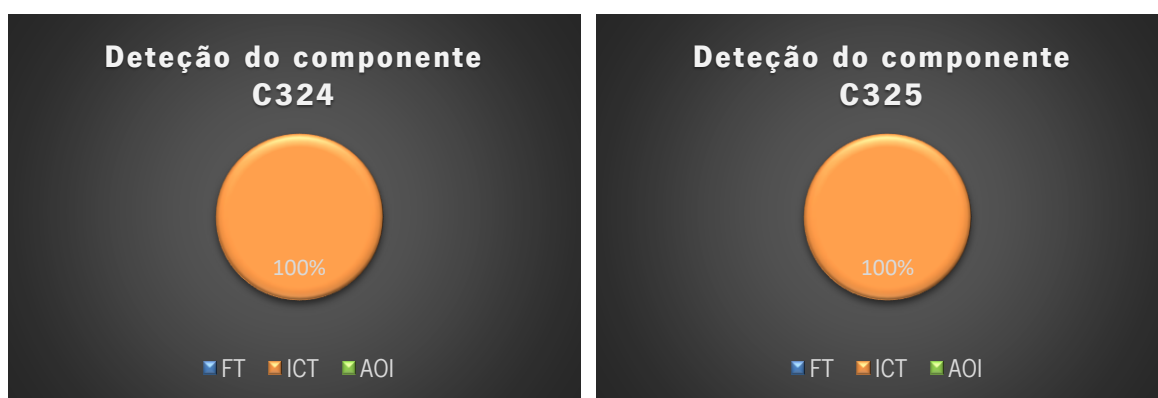


Figura 45 – Deteção dos componentes C324 e C325, respetivamente.

Com o propósito de isolar os processos que afetam os componentes C324 e C325, foi elaborado o seguinte *process map*, Figura 46.

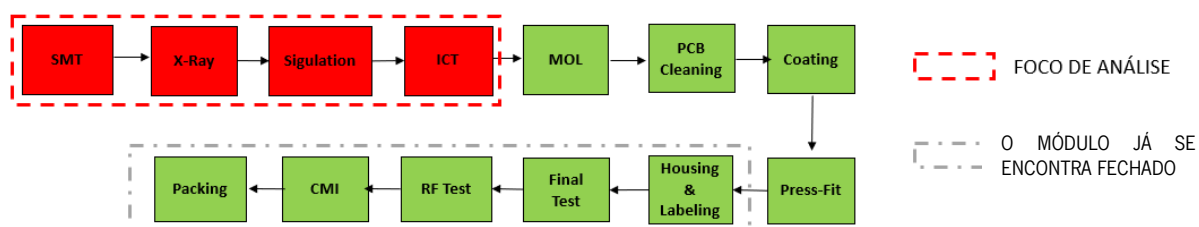


Figura 46 – Análise crítica do *process map* do produto A, para os componentes C324 e C325.

Os processos representados a verde não são considerados problemáticos para a danificação dos componentes pois, durante este estudo, nenhum componente C324 e C325 foi detetado em FT, logo os processos MOL, PCB *Cleaning*, *Coating*, *Press-Fit* e *Housing & Labeling* podem ser excluídos desta análise. Além disso, a partir de FT o módulo já se encontra fechado e, portanto, considera-se que os seguintes processos não causam danos para os componentes.

▪ Componente D61

Segundo a observação da Figura 47, o componente D61 é detetado danificado maioritariamente (92%) em *Final Test*, na Montagem Final.

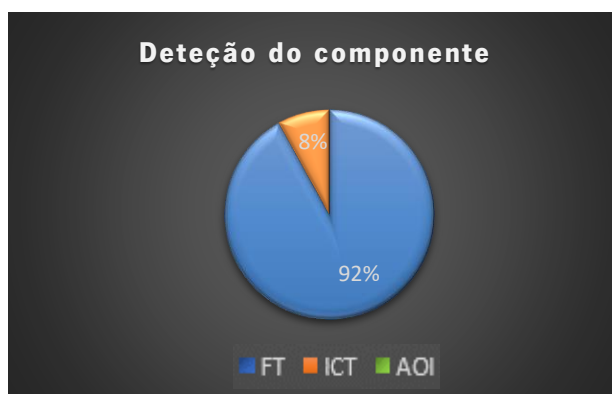


Figura 47 – Deteção do componente D61.

Perante esta realidade, definiu-se que os processos antes de ICT não serão o foco de análise, porque apresentam uma percentagem muito reduzida de componentes danificados (8%). No entanto, não se descartou a possibilidade dos componentes serem danificados à saída deste processo, pois o teste já fora realizado. Segundo o estudo feito às placas danificadas (apêndice 1), todos os componentes foram danificados antes do processo de *Coating*. Com base nesta informação é possível eliminar alguns processos que não danificam os componentes em estudo, estando estes identificados a verde na Figura 48.

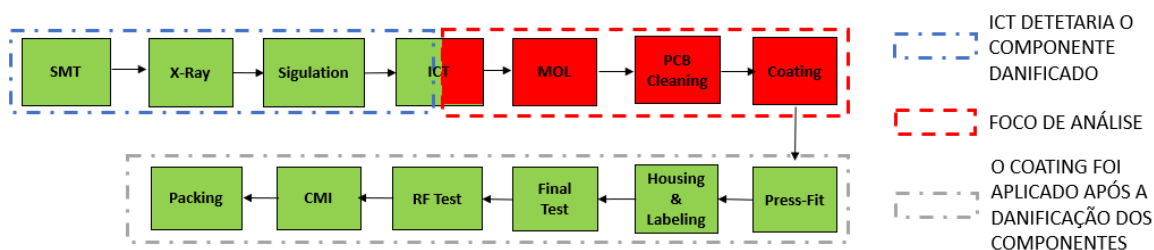


Figura 48 – Análise crítica do *process map* do produto A, para o componente D61.

Na Figura 49 pode-se observar a direção de embate do componente D61. Assim, é possível concluir que a direção de embate acontece, maioritariamente, do lado direito para o esquerdo. É de referir que 18% dos componentes foram arrancados, não sendo possível identificar a direção de embate dos mesmos.

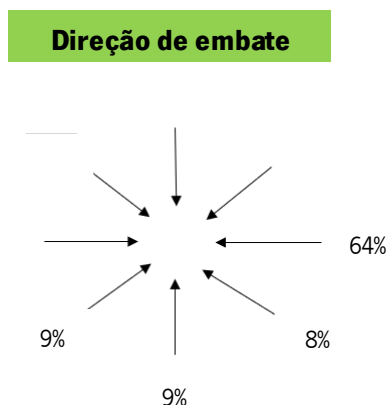


Figura 49 – Direção de embate do componente D61.

▪ Componente D23

Importa referir que, tal como se pode observar na Figura 50, 75% dos componentes danificados são detetados nos *quality gates* ICT, em CBA, e 25% no *Final Test*, na Montagem Final, o que permitiu excluir a possibilidade destes serem danificados antes do *quality gate* AOI pois, caso contrário, este processo detetaria.

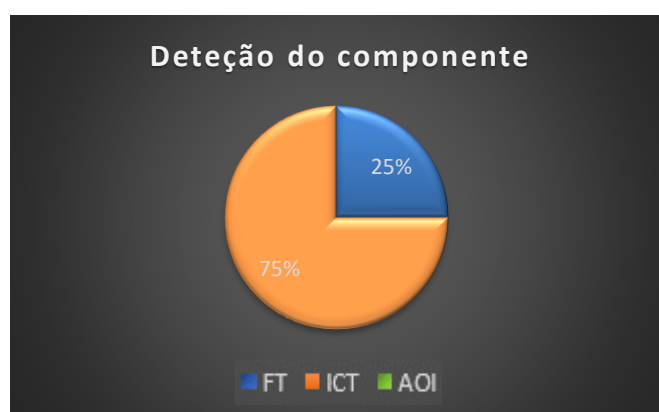


Figura 50 – Deteção do componente D23.

De seguida, tendo em conta o estudo realizado aos PCBs danificados (Apêndice 1), constatou-se que 56% dos componentes danificados ocorreram antes do processo de *Coating* e os restantes 44% ocorreram depois deste processo.

Como o componente D23 está localizado na parte superior da placa, se o componente estivesse danificado, o *quality gate* AOI detetaria e, por este motivo, excluiu-se o processo SMT. Além disso, depois do processo *Press-Fit*, considera-se que o risco de danificar os componentes é muito reduzido, dado que o módulo/produto já se encontra fechado. Assim, o foco centrar-se-á nos processos entre *X-Ray* e o *Press-Fit*, tal como está representado na Figura 51.

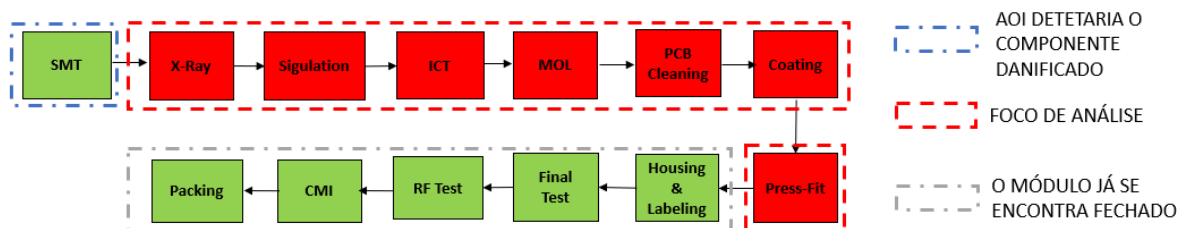


Figura 51 – Análise crítica do *process map* do produto A, para o componente D23.

Através da observação aos PCBs danificados, verificou-se que a direção de embate seguia um padrão específico, como evidenciado na Figura 52, mais concretamente sofreram uma colisão da esquerda para a direita. Importa referir que 30% dos componentes D23 foram arrancados e, por esta razão, não foi possível identificar a direção de embate.

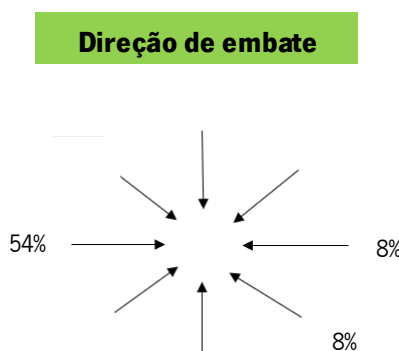


Figura 52 – Direção de embate do componente D23.

Adicionalmente, observou-se que várias placas danificadas continham marcas pretas perto da zona onde o componente se encontrava danificado, o que fez com que a equipa prestasse uma atenção especial para este aspeto, não descurando as restantes informações obtidas a partir da análise realizada.

▪ Componente L28

O componente mais danificado do produto B é o L28, sendo detetado nos *quality gates* ICT (72%), em CBA, e no *Final Test* (28%), em Montagem Final, tal como mostra a Figura 53.

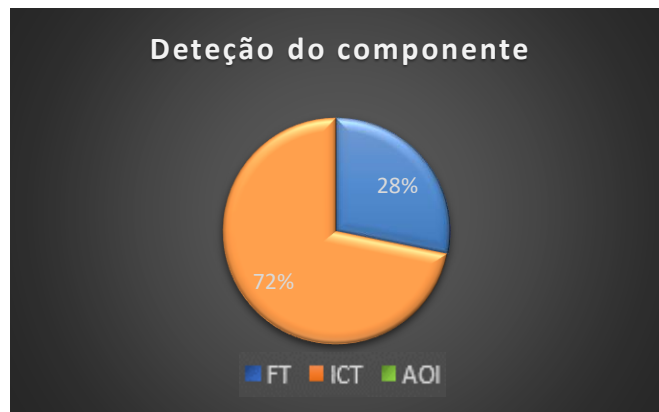


Figura 53 – Detecção do componente L28.

Após esta análise, definiu-se que o foco do presente estudo, para este componente, centrar-se-á nos processos entre SMT e *Assembly Screwing*, ASCW, uma vez que depois deste último posto o módulo já se encontra fechado, Figura 54.

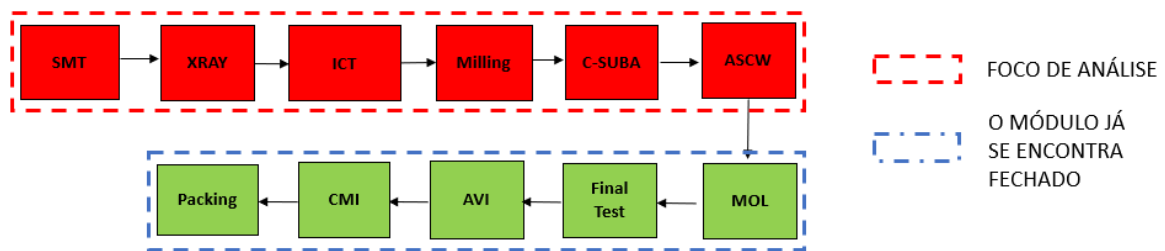


Figura 54 – Análise crítica do *process map* do produto B, para o componente L28.

▪ Componente L20

Numa primeira análise, importa referir que somente o *quality gate Final Test* detetou a existência de componentes L20 danificados (Figura 55) e, por isso, os processos que ocorrem antes do ICT foram excluídos da análise pois, assume-se que, se algum componente fosse danificado nos processos antes de ICT, então este *quality gate* (ICT) detetaria.



Figura 55 – Detecção do componente L20.

Por outro lado, como no processo MOL o produto já se encontra fechado, a equipa considerou que o componente em estudo não é danificado nesse processo, nem nos seguintes. Posto isto, tal como é evidenciado na Figura 56, apenas os processos entre a *Milling* e a ASCW serão o foco de análise.

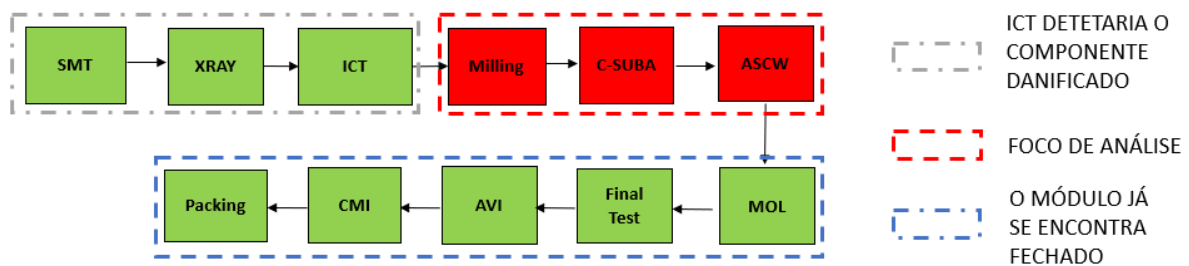


Figura 56 – Análise crítica do *process map* do produto B, para o componente L20.

Após a seleção dos possíveis processos que possam estar a danificar cada componente em estudo, realizou-se uma análise mais detalhada a cada posto de trabalho destes processos, tendo em conta o número de componentes danificados identificados nos mesmos. Esta análise pode ser consultada no Apêndice 2. Com este estudo, concluiu-se que a causa raiz não está inerente a um posto de trabalho específico.

4.2.2 Conclusão da Fase Medir

Em primeiro lugar, verificou-se, através do MSA, que os *quality gates* da empresa são processos capazes de gerar dados precisos e exatos. No entanto, apesar destes estarem limitados às suas capacidades físicas, os testes de inspeção existentes ao longo do processo produtivo, asseguram que todos os componentes danificados são detetados, tal como conclui o documento TCA.

Além disso, também se aferiu, através da análise realizada no ponto 4.2.1, que os componentes mais críticos do produto A são o R4510, D901, C324, C325, D61 e D23 e do produto B são os componentes L28 e L20.

Com vista à identificação de potenciais áreas que danificam os componentes em estudo, procedeu-se a uma análise detalhada e individual para cada um destes componentes. Desta análise, foi possível restringir o problema aos processos indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Identificação das potenciais áreas críticas que danificam os componentes em estudo.

Componente	Possíveis áreas problemáticas
R4510	Processos entre SMT e <i>Coating</i> , inclusive
D901	Processos entre SMT e <i>Press-Fit</i> , inclusive
C324 e C325	Processos entre SMT e ICT, inclusive
D61	Processos entre ICT e <i>Coating</i> , inclusive
D23	Processos entre <i>X-Ray</i> e <i>Press-Fit</i> , inclusive
L28	Processos entre SMT e ASCW, inclusive
L20	Processos entre a <i>Milling</i> e ASCW, inclusive

Todos os componentes em questão estão localizados nas extremidades da placa e, através do estudo realizado no Apêndice 1, verificou-se que, praticamente na totalidade dos casos, a direção de embate provinha da parte externa da placa para o interior da mesma.

Por último, através de uma análise padrão aos processos, apresentada no Apêndice 2, não se conseguiu identificar um posto de trabalho específico que esteja a danificar os componentes, visto que o defeito é transversal aos mesmos. Todavia, a equipa não descartou a possibilidade de existir uma causa comum entre os diferentes posto de trabalho, para um determinado processo.

4.3 Fase Analisar

A terceira fase do ciclo DMAIC tem o propósito de investigar e identificar a causa raiz do problema.

Depois de se selecionar os processos que foram alvo de análise e identificar a direção de embate dos componentes danificados, a equipa realizou auditorias aos processos para reconhecer potenciais causas que possam afetar negativamente estes componentes. Não obstante, nestas auditorias e nas restantes visitas ao *Gemba* considerou-se de extrema relevância perceber a opinião dos operadores quanto a

possíveis locais nos postos de trabalho que possam danificar os componentes, uma vez que estes profissionais conhecem bem os processos e as suas lacunas.

No final das auditorias realizaram-se sessões de *brainstorming*. Com o objetivo de sistematizar as informações recolhidas aplicaram-se ferramentas como o FTA, 5 *Why* e o Diagrama de *Ishikawa*.

Posto isto, com vista a excluir alguns processos e isolar a causa raiz que danifica os componentes em estudo, será apresentada uma análise detalhada para cada componente. Importa referir que a análise para cada componente seguirá a mesma estrutura que a fase Medir.

4.3.1 Produto A: Componente R4510

Tendo em conta o subcapítulo 4.2 constatou-se que os processos entre SMT e *Coating*, inclusive, são potenciais locais onde o componente R4510 pode ser danificado. Por essa razão, da sessão de *brainstorming* culminou o seguinte FTA para o componente em questão (Figura 57).

Entre as potenciais causas identificadas, apenas onze foram verificadas através de registos ou da observação aos processos e, por esta razão, as mesmas estão assinaladas com um visto. Relativamente às restantes, estas não foram observadas por nenhum meio anteriormente indicado e, por isso, estão identificadas com uma cruz pois não foram tidas em consideração.

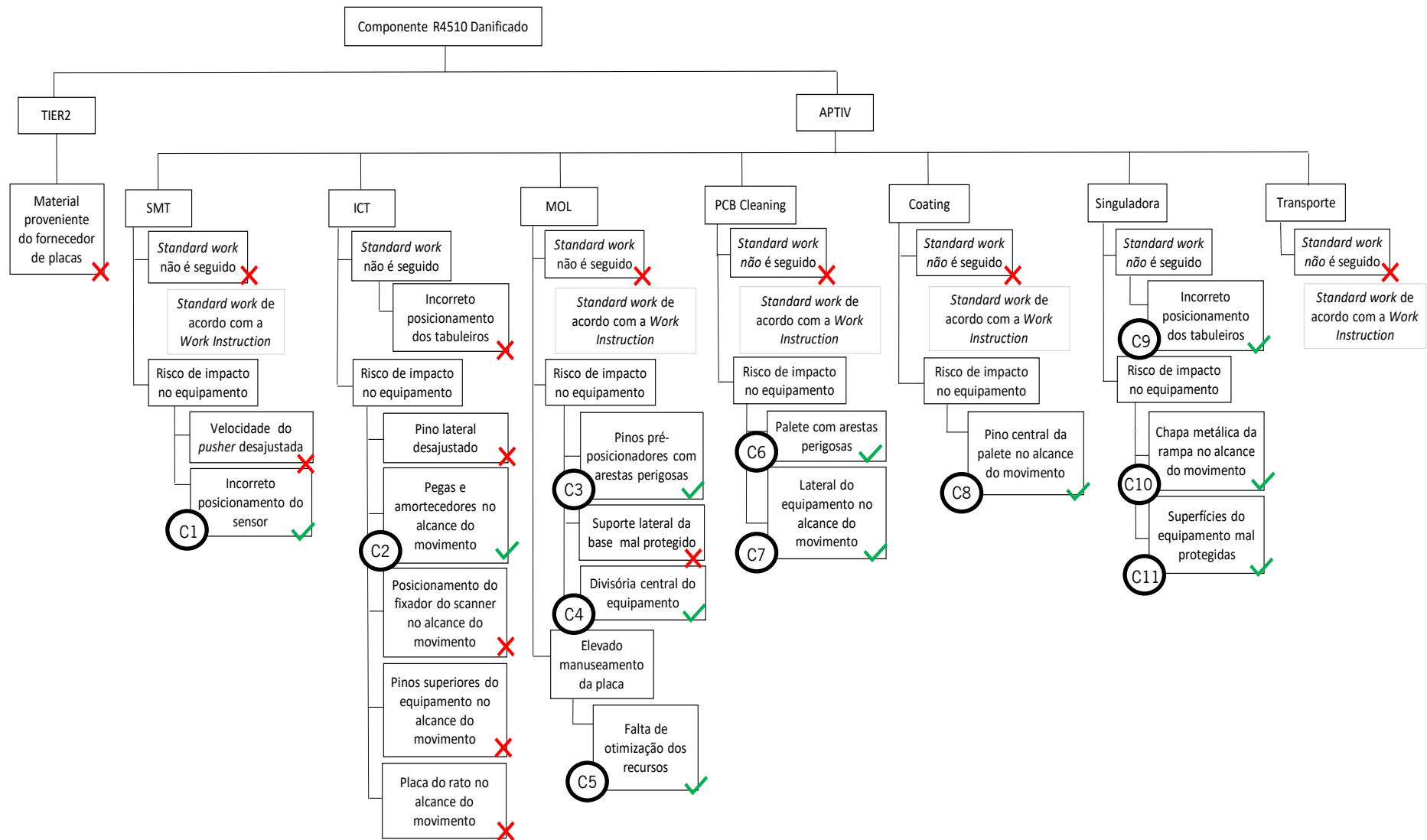


Figura 57 – FTA para o componente R4510 danificado.

De seguida, será explicado com mais detalhe as causas que danificam o componente R4510, inerentes a cada processo.

Processo SMT

Causa 1 “Incorreto posicionamento do sensor”

Nas linhas de SMT, uma das funções dos operadores é posicionar o *container* junto à porta do *unloader*, tal como se encontra ilustrado na Figura 58, para que, no final do processo, cada placa seja automaticamente colocada no *container*.

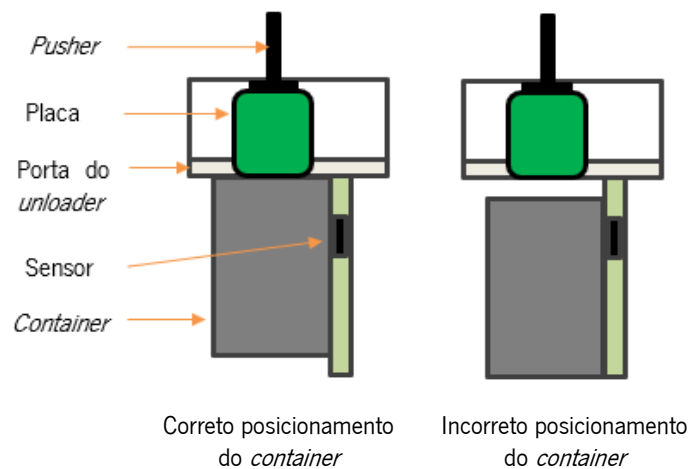


Figura 58 – Correto e incorreto posicionamento do *container*, respetivamente.

Contudo, através da observação do processo verificou-se que o operador consegue colocar erroneamente o *container* entre o sensor e a porta do *unloader*, embora o sensor continue a detetar a presença do *container* (Figura 59, situação A). Nesta situação, o *pusher* empurra a placa na tentativa de a introduzir no *container*, mas a mesma não vai ser colocada na posição/*pitch* correto. Portanto, a placa exerce força sobre o *container*, afastando-o (Figura 59, situação B) e esta acaba por cair e danificar os componentes que se encontram na parte inferior da mesma (Figura 59, situação C).

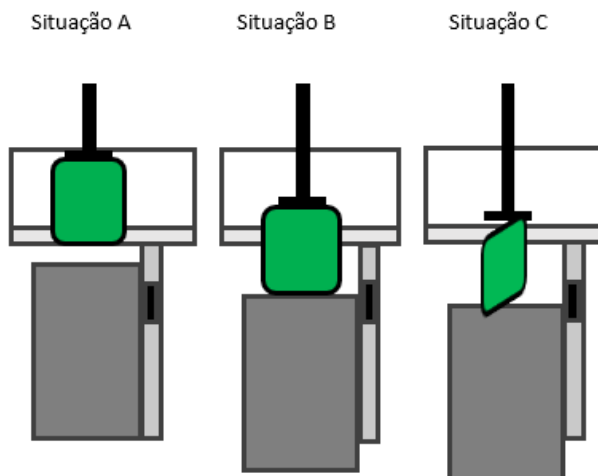


Figura 59 – Exemplificação da situação em que o *container* está afastado da porta do *unloader* de SMT.

Posto isto, a equipa sugere a colocação do sensor junto à porta do *unloader* para evitar que a situação descrita anteriormente aconteça. Assim, se o *container* estiver afastado da porta do *unloader*, o sensor não deteta a presença do mesmo e, por isso, não vai permitir que as restantes etapas do processo funcionem, conseguindo deste modo prevenir que os componentes sejam danificados. Paralelamente, outra ação sugerida é a implementação de um suporte para fixar os *containers* e impedir que os mesmos se afastem da posição correta.

Processo ICT

Causa 2 “Pegas e amortecedores no alcance do movimento”

Ao observar o processo de ICT verificou-se que, quando o operador retira e/ou coloca a placa Eletrónica nos ICTs, esta passa muito perto das pegas e dos amortecedores do equipamento sendo que, no caso de embater neste local, irá afetar os componentes localizados na área D3 que, por sua vez, é onde está inserido o componente R4510. Através da Figura 60 é possível verificar as marcas de desgaste destes dois materiais.



Figura 60 – Marcas de desgaste nos amortecedores e pegas do equipamento ICT, respetivamente.

Assim, com o intuito da placa não colidir nas superfícies indicadas anteriormente, a equipa propõe a alteração do formato das pegas, bem como a modificação da posição dos amortecedores.

Processo MOL

Causa 3 “Pinos pré-posicionadores com arestas perigosas”

Por meio da observação ao processo MOL constatou-se que os pinos apresentavam, no seu topo, arestas perigosas, cujo choque da placa neste local danifica os componentes (Figura 61).

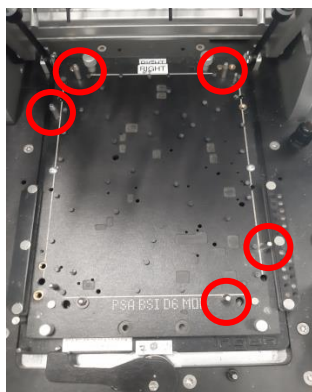


Figura 61 – Identificação dos pinos pré-posicionadores com arestas perigosas.

Para colmatar esta causa foi sugerida a substituição dos pinos por um material mais apropriado para mitigar o impacto dos choques. Outra ação sugerida foi a implementação de um *quality alert* neste posto de trabalho, para sensibilizar os operadores a manusearem a placa com as duas mãos e, assim, terem um maior controlo sobre a mesma.

Causa 4 “Divisória central do equipamento”

Ainda no processo MOL, verificou-se que o separador central do equipamento, Figura 62, contém riscos de embate. Após uma breve análise, a equipa percebeu que o operador passa com a placa muito perto desta divisória e por esta razão a mesma foi considerada uma superfície crítica. Visto que o componente R4510 encontra-se situado na parte lateral da placa, a equipa acredita que o mesmo está a ser danificado neste separador.

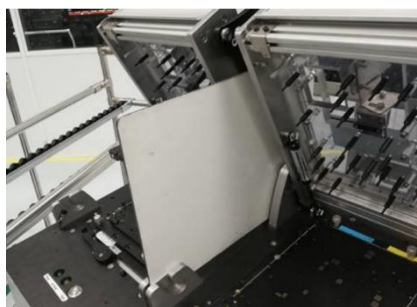


Figura 62 – Divisória central do equipamento MOL.

Tendo em consideração que esta divisória é essencial para evitar outros danos, foi sugerido o corte da mesma para diminuir a probabilidade da placa colidir nesta divisória.

Causa 5 “Falta de otimização dos recursos”

De acordo com a instrução de trabalho do processo MOL, quando uma placa é testada no equipamento e o sistema deteta uma falha, o operador tem de pegar na placa e introduzi-la noutra base do MOL. No entanto, verificou-se que esta situação repete-se frequentemente (Figura 63), aumentando assim o risco de danificar os componentes, devido ao excessivo manuseamento da placa.

station	Softlab	tested	failed	FTQ
MOL--001		1392	46	33046
MOL--001/0		7574	415	54793
MOL--001/1		7553	384	50841
MOL--002		1353	41	30303
MOL--002/0		7289	214	29359
MOL--002/1		7573	224	29579
MOL--003		1375	21	15273
MOL--003/0		7561	109	14416
MOL--003/1		7598	222	29218
MOL--004		1357	39	28740
MOL--004/0		7569	279	36861
MOL--004/1		7581	119	15697
MOL--005		1364	38	27859
MOL--005/0		7553	307	40646
MOL--005/1		7594	271	35686

Figura 63 – Identificação do FTQ de cada MOL.

Desta forma, a equipa sugere a reconfiguração do sistema de todas as bases de MOL para que as mesmas sejam capazes de fazerem *loops*, ou seja, a base irá testar novamente a placa sem que o operador tenha a necessidade de a colocar noutra base reduzindo, deste modo, o *handling* no processo MOL e, por conseguinte, o risco inerente de danificar os componentes.

Processo PCB *Cleaning*

Causa 6 “Palete com arestas perigosas”

Ao observar o processo PCB *Cleaning* verificou-se que as cavidades da paleta têm arestas perigosas e, com o recurso à simulação, foi possível provar que, quando o operador manuseia a placa apenas com uma mão perde o controlo da placa e esta colide com a superfície envolvente da paleta, acabando por arrancar os componentes eletrónicos que se encontram na parte inferior da mesma (Figura 64).

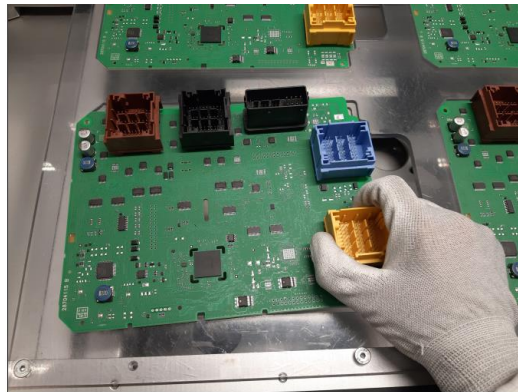


Figura 64 – Colisão da placa Eletrónica com a paleta do equipamento PCB *Cleaning*.

Por esta razão foi sugerido duas ações, nomeadamente retrabalhar as bordas das cavidades nos locais mais críticos da mesma, desbastando as arestas vivas de forma a ficarem arredondadas e, por último, implementar um *quality alert* neste posto de trabalho, para sensibilizar os operadores a manusearem corretamente a placa, dando ênfase à necessidade de fazerem-no com as duas mãos.

Causa 7 “Laterais do equipamento no alcance do movimento”

No processo PCB *Cleaning*, os operadores pegam na placa que se encontra no tabuleiro posicionado no lado direito do posto de trabalho e colocam-na na paleta deste posto. Todavia, ao executarem este movimento, esta passa muito junto às laterais do equipamento e, na eventualidade de colidir neste local, provoca danos na placa (Figura 65).

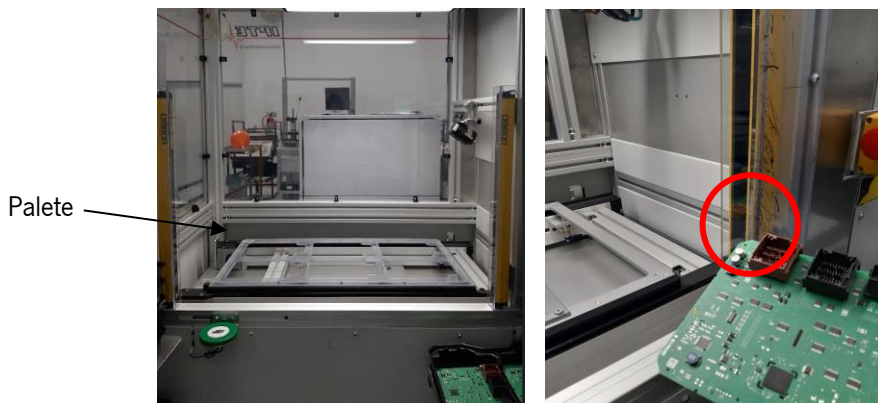


Figura 65 – Colisão da placa Eletrônica com a lateral do equipamento PCB *Cleaning*.

Neste sentido, de forma a melhorar este processo, foi sugerido a alteração da paleta de 6 para 4 cavidades evitando assim que o operador tenha de passar com a placa muito próximo das laterais do equipamento, dado que a distância entre as laterais e a cavidade da paleta será maior.

Processo *Coating*

Causa 8 “Pino central da paleta no alcance do movimento”

Após a observação ao processo de *Coating* verificou-se que, quando o operador retira o PCB do tabuleiro e insere-o na paleta deste equipamento, este passa muito perto do pino central da paleta, tal como está ilustrado na Figura 66.

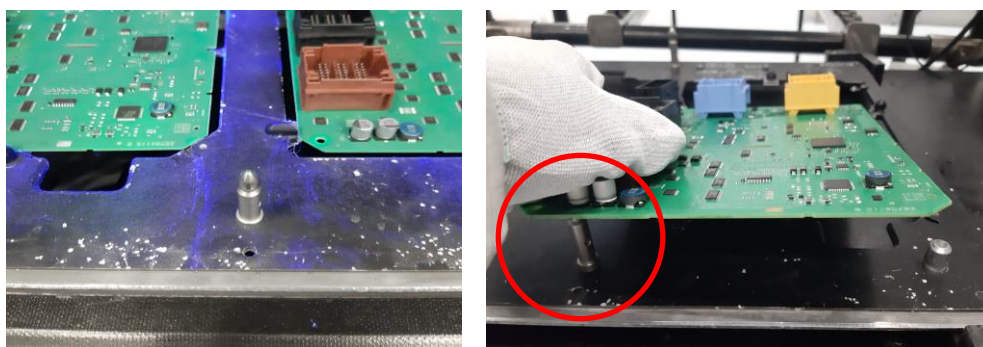


Figura 66 – Colisão da placa Eletrônica com o pino central da paleta de *Coating*.

De acordo com esta investigação, considerou-se que este pino é bastante crítico no sentido em que o incorreto manuseamento da placa pode fazer com que esta colida com o mesmo e, por conseguinte, danifique o componente R4510. Como este pino é essencial para garantir que a paleta ao longo do

processo não deixa cair os PCBs, a ação proposta passa por retrabalhar a paleta, implementando o pino na parte superior da mesma. Por outro lado, é sugerida a implementação de um *quality alert* neste posto de trabalho, com o propósito de alertar os operadores para manusearem a placa com as duas mãos.

Processo *Singulation*

Causa 9 “Incorreto posicionamento das caixas e tabuleiros”

De acordo com a instrução de trabalho do processo *Singulation*, os operadores devem colocar a caixa e os tabuleiros como está ilustrado, a verde, na Figura 67. Contudo, durante visitas ao *Gemba* observou-se que, por vezes, os operadores não cumprem com o *standard work* e colocam a caixa e o tabuleiro posicionados segundo um ângulo de 90° face à posição correta, exibido na Figura 67, a vermelho. Decorrente desta situação, o operador ao introduzir a placa no tabuleiro pode dar uma “cotovelada” no mesmo inadvertidamente e deixá-lo cair.



Figura 67 – Exemplificação do posicionamento correto e incorreto da caixa e do tabuleiro, em *Singulation*, respetivamente.

De forma a sensibilizar os operadores para esta problemática, a equipa do projeto sugere a implementação de um *quality alert* neste posto de trabalho para colocarem o tabuleiro e a caixa corretamente.

Causa 10 “Chapa metálica da rampa no alcance do movimento”

Ao observar o operador a executar o seu trabalho verificou-se que a primeira placa a ser retirada do *container* passa muito perto da chapa metálica da rampa, pois a distância é muito reduzida, Figura 68.

Ao simular este movimento, constatou-se que o choque da placa, na rampa, danifica os componentes que estão localizados na parte inferior da placa.



Figura 68 – Identificação da chapa metálica da rampa existente no processo *Singulation*.

Neste sentido, a equipa sugeriu a remoção parcial da chapa da rampa, visto que esta não pode ser eliminada porque garante que o *container* não cai ao chão.

Causa 11 “Superfícies do equipamento mal protegidas”

Ao longo do movimento da placa aferiu-se que esta passa perto de superfícies do equipamento, mal protegidas, cujo choque pode danificar os componentes. A título exemplificativo, destacam-se as superfícies indicadas a vermelho na Figura 69, que evidenciam que existe colisão das placas nestes locais, dado os riscos que foram possíveis observar no próprio equipamento.



Figura 69 – Identificação das superfícies, do equipamento *Singulation*, mal protegidas.

Posto isto, surgere-se a colocação de uma borracha protetora nestas superfícies de forma a mitigar o embate e reduzir os componentes danificados.

4.3.2 Produto A: Componente D901

Segundo o subcapítulo 4.2, o componente D901 pode ser danificado nos processos entre SMT e *Press-Fit*, inclusive. Portanto, da auditoria realizada a estes processos e a subsequente sessão de *brainstorming* resultou o seguinte FTA para o componente D901 (Figura 70).

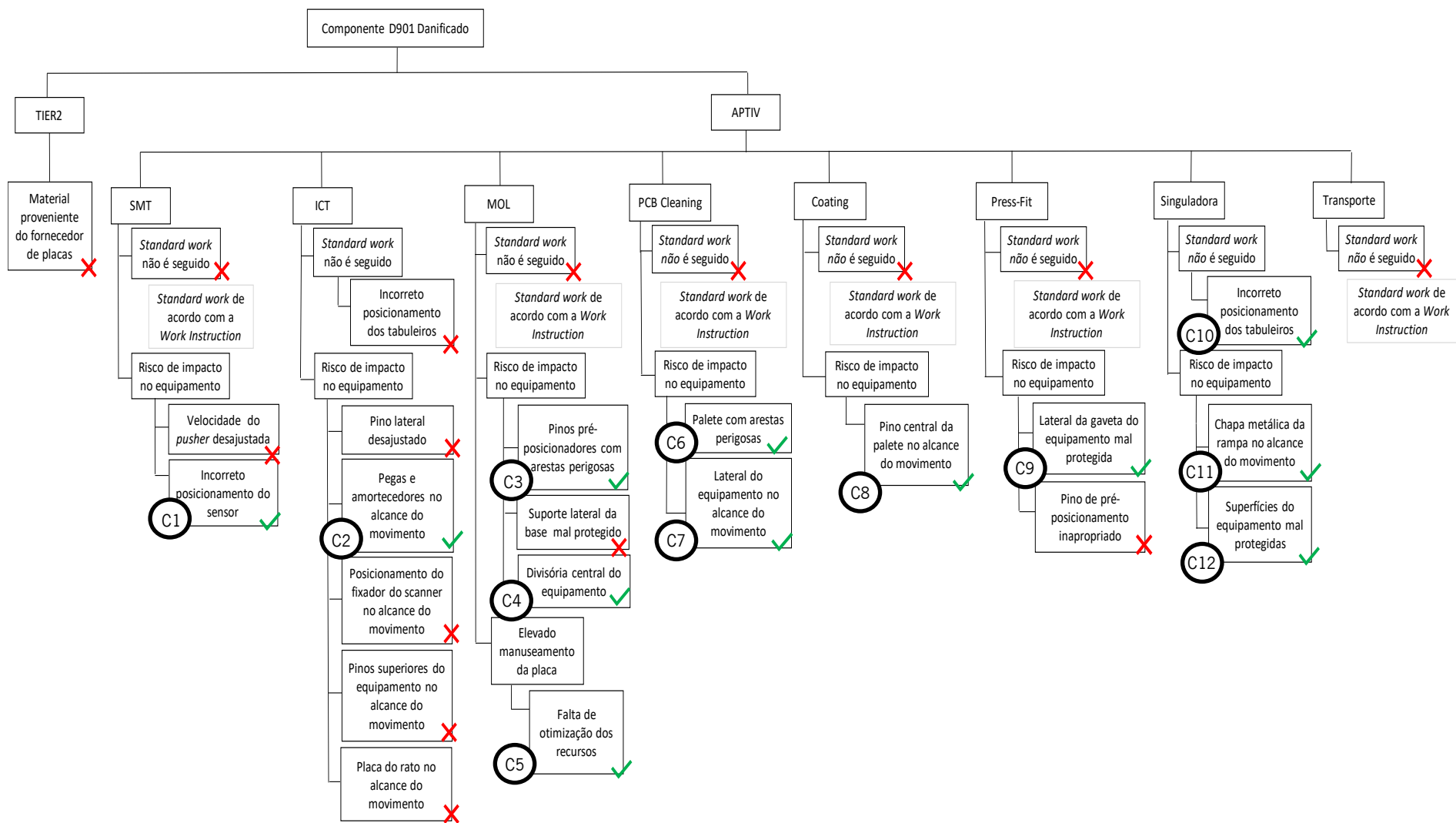


Figura 70 – FTA para o componente D901 danificado.

Tendo em consideração as causas identificadas no diagrama da figura acima, procedeu-se à análise desses fatores nos respetivos processos, sendo esta análise realizada através da observação direta ou por meio de registos. As doze causas identificadas com um visto representam as causas observadas. Relativamente às restantes não se conseguiu provar uma relação direta entre a causa e o dano e, por isso, não foram tidas em consideração.

É de realçar que a maioria das causas mencionadas acima são comuns às identificadas para o componente R4510, sendo este facto justificado pela proximidade dos componentes na placa. Portanto, de seguida, apenas será explicada a causa “Lateral da gaveta do equipamento mal protegida”.

Processo *Press-Fit*

Causa 9 “Lateral da gaveta do equipamento mal protegida”

Com o intuito de identificar a causa raiz responsável pelo aparecimento de componentes D901 danificados, depois de *Coating*, analisou-se o posto de trabalho *Press-Fit*. Numa primeira instância verificou-se que a gaveta do equipamento apresentava riscos de embate e, por isso, foi do interesse da equipa analisar esta situação. Através da simulação, foi possível provar que o operador quando retira a placa do tabuleiro para a introduzir no *Press-Fit*, pode colidir com a gaveta do equipamento na mesma zona onde o componente D901 está localizado, uma vez que a distância entre estas duas superfícies é muito reduzida, Figura 71.



Figura 71 – Colisão da placa Eletrónica com a lateral da gaveta do equipamento *Press-Fit*.

Posto isto, a equipa sugere a alteração das laterais da gaveta do *Press-Fit*, de modo a reduzir a possibilidade de colisão da placa neste local. Mais concretamente, propõe retirar uma porção da gaveta e fixá-la no perfil do equipamento e, ainda, bolear com plástico as laterais da gaveta para reduzir a gravidade de eventuais impactos.

4.3.3 Produto A: Componente C324 e C325

No subcapítulo 4.2, identificou-se que os processos entre SMT e ICT, inclusive, são os locais possíveis onde os componentes C324 e C325 podem ser danificados. Consequente da auditoria realizada a estes processos encontra-se representado na Figura 72, o FTA resultante da sessão de *brainstorming*. Não obstante, foi elaborado um único FTA para os dois componentes pelo facto destes se encontrarem localizados muito próximo um do outro.

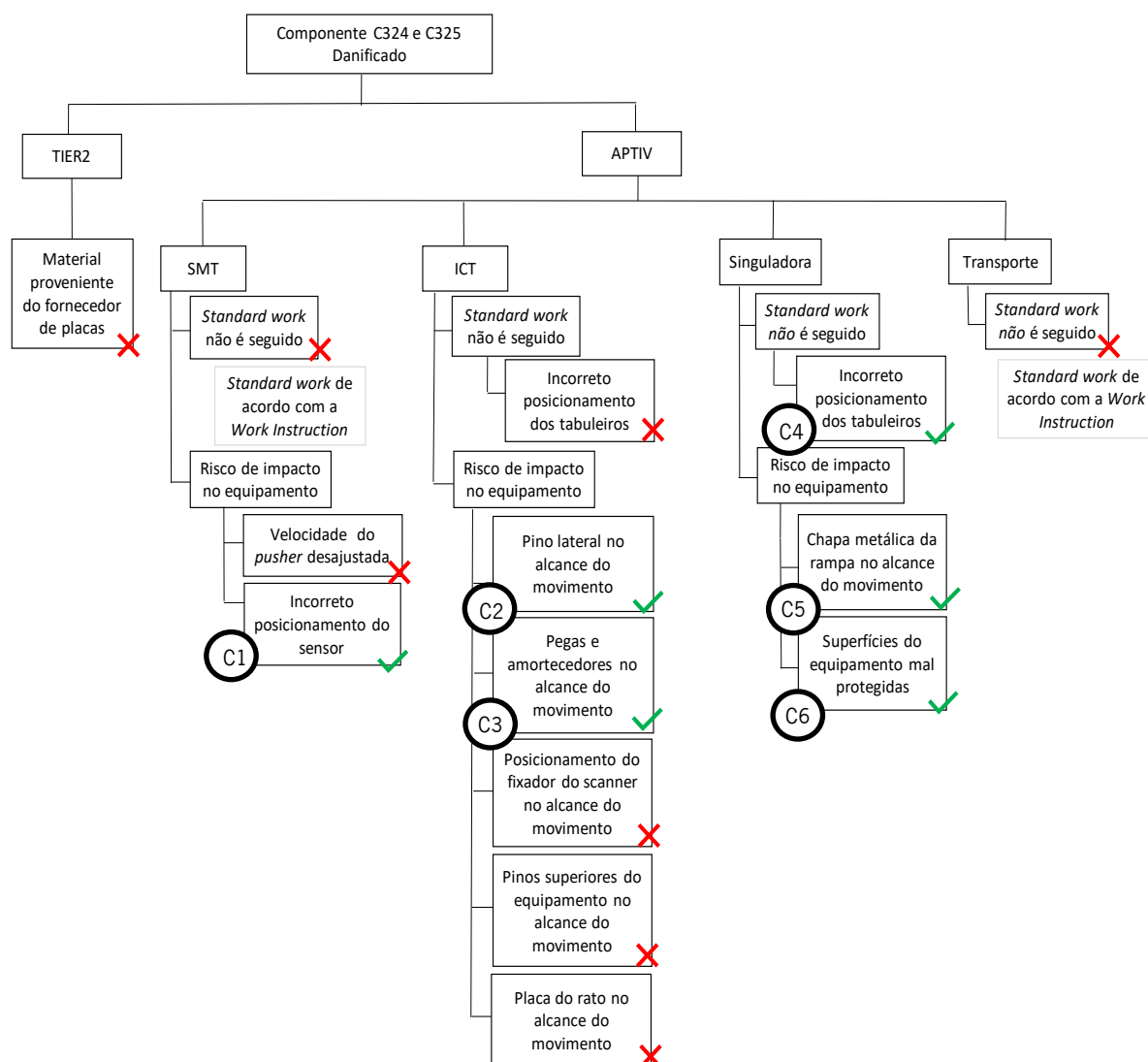


Figura 72 – FTA para o componente C324 e C325 danificado.

Em síntese, concluiu-se que somente seis causas foram identificadas através da observação direta aos processos, a referir: incorreto posicionamento do sensor; pino lateral, pegas, amortecedores e chapa metálica da rampa no alcance do movimento; incorreto posicionamento das caixas e tabuleiros e, por último, superfícies do equipamento mal protegidas. Com exceção da causa pino lateral no alcance do

movimento, todas as outras já foram explicadas no subcapítulo 4.3.1 e, por isso, de seguida apenas será descrita a causa em falta.

Processo ICT

Causa 2 “Pino lateral no alcance do movimento”

Por meio da observação ao processo ICT detetou-se a presença de um componente C324 arrancado na base do equipamento, como está exibido na Figura 73, o que levou a equipa a tentar perceber a razão do sucedido.



Figura 73 – Identificação do componente C324 na base do ICT.

Depois de se compreender o fluxo produtivo deste processo, verificou-se que o operador ao introduzir a placa na base de ICT para realizar o teste pode embater no pino indicado a vermelho, na Figura 74. Através da simulação, confirmou-se que a colisão coincide com a localização dos componentes C324 e C325.

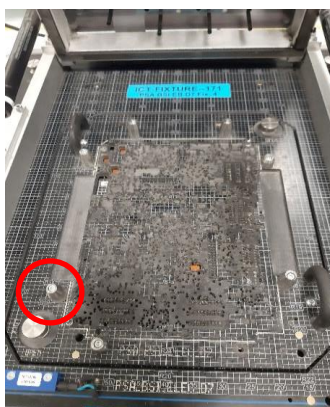


Figura 74 – Localização do pino, na base de ICT.

Visto que este pino é fundamental para o alinhamento da placa no equipamento, foi sugerido a sua redução para mitigar o aparecimento destes componentes.

4.3.4 Produto A: Componente D61

De acordo com a investigação feita no subcapítulo 4.2, o componente D61 apenas pode ser danificado nos processos entre ICT e *Coating*, inclusive. Neste sentido, de forma a organizar todas as informações recolhidas sobre as potenciais causas desta problemática elaborou-se um FTA, tal como se encontra ilustrado na Figura 75.

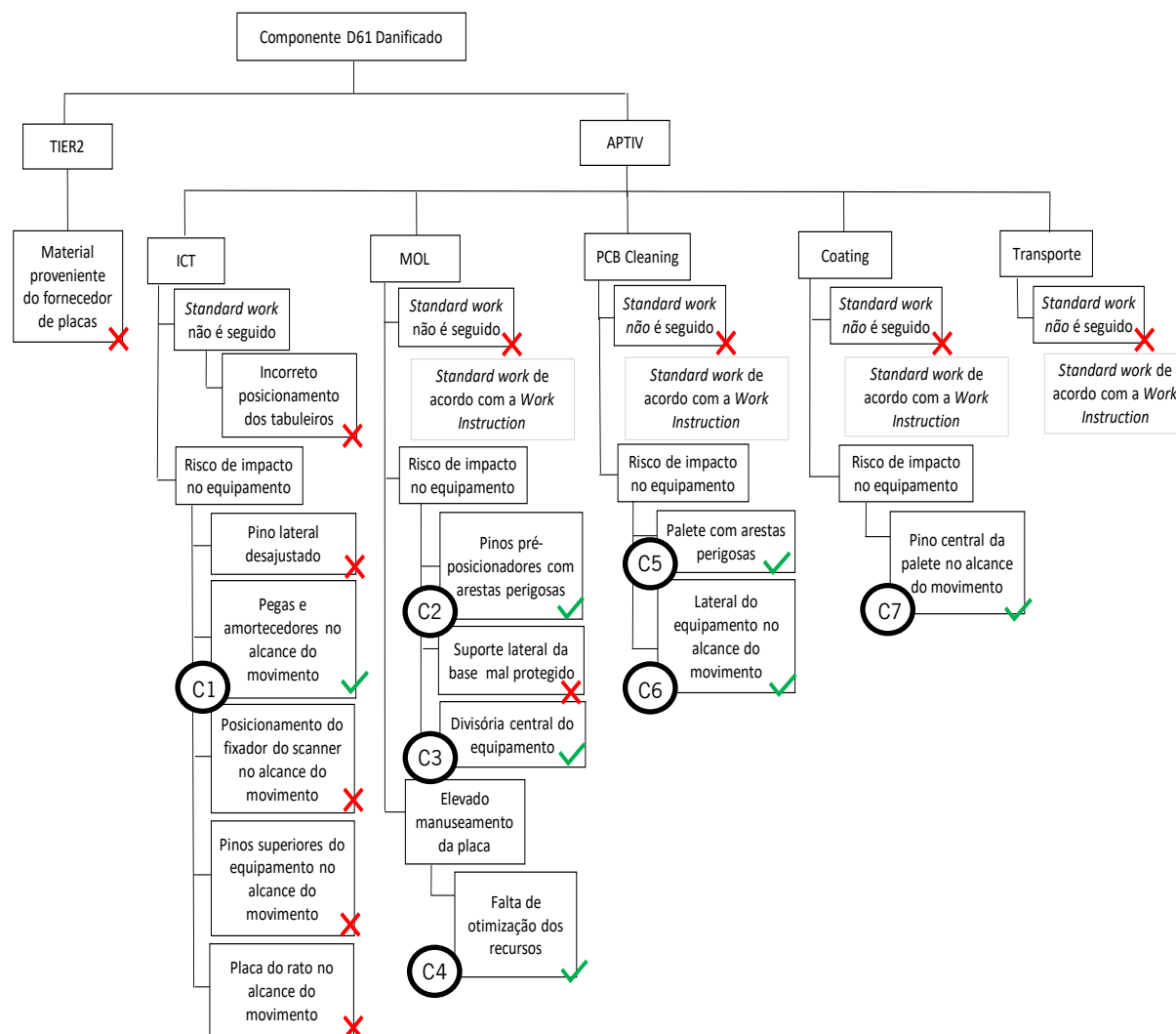


Figura 75 – FTA para o componente D61 danificado.

Entre as diferentes causas identificadas, apenas sete foram confirmadas por meio da observação dos processos, estando estas assinaladas no diagrama acima com um visto. Relativamente às restantes, não existiam evidências que pudessem danificar o componente em estudo e por esta razão não foram tidas em consideração. É de salientar que todas as causas que influenciam este componente são comuns a outros componentes e, por isso, já foram abordados no subcapítulo 4.3.1.

4.3.5 Produto A: Componente D23

Em relação ao componente D23 chegou-se à conclusão, através do estudo apresentado na fase de medição do projeto, que este componente somente pode ser danificado entre os processos *X-Ray* *Press-Fit*, inclusive. Assim, realizaram-se auditorias a cada um destes processos, procurando também descobrir o porquê da maioria das placas conterem marcas pretas nas proximidades do componente. Posteriormente, durante a sessão de *brainstorming*, procedeu-se à construção do diagrama FTA para o componente D23 do produto A (Figura 76).

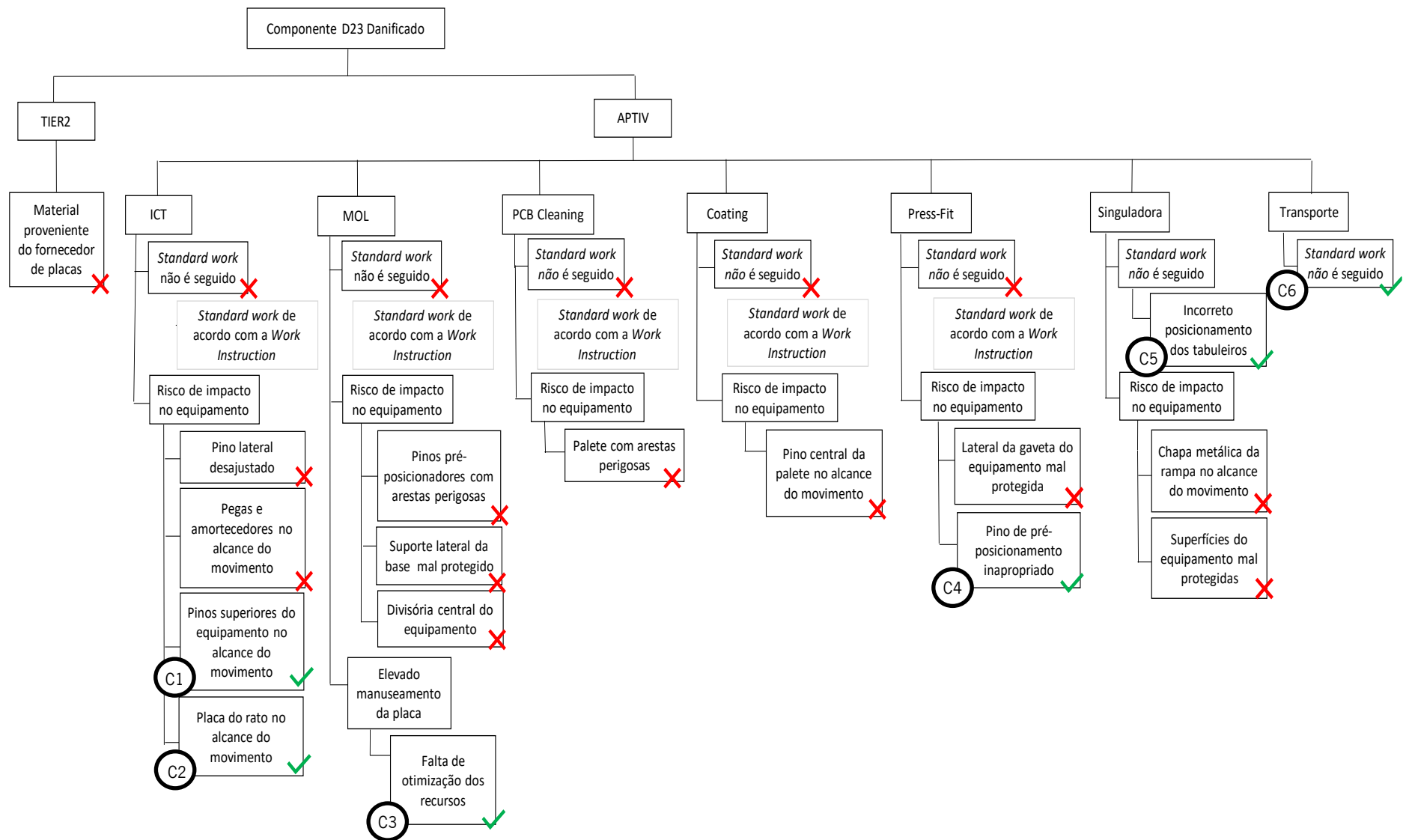


Figura 76 – FTA para o componente D23 danificado.

Após a análise do diagrama, verificou-se que existem seis causas responsáveis pelos danos no componente D23 sendo por isso atribuído um visto a cada uma destas causas, tal como está ilustrado no diagrama acima. De seguida, será explicado com mais detalhe as causas que contribuem para a problemática em estudo e que ainda não foram abordadas anteriormente.

Processo ICT

Causa 1 “Risco de impacto nos pinos superiores do equipamento”

No processo ICT verificou-se que, após a realização do teste, o operador ao retirar o PCB do equipamento, pode embater com o mesmo nos pinos que estão incorporados na tampa superior do equipamento, caso os operadores não levistem a mesma na sua totalidade, Figura 77. Apesar de não deixar marcas pretas nos PCBs, existe risco de danificar o componente D23.

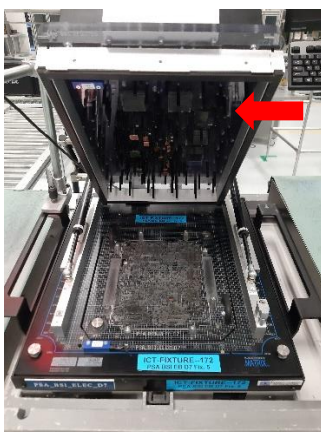


Figura 77 – Localização dos pinos superiores na base de ICT.

Assim, a ação sugerida passa por sensibilizar os operadores para esta problemática, alertando-os nas reuniões diárias, realizadas na produção, para abrirem o equipamento na sua totalidade antes de colocarem ou retirarem o PCB do equipamento.

Causa 2 “Risco de impacto na placa do rato”

Quando a equipa se deslocou ao processo ICT, um dos problemas detetados foi o facto de a placa do rato se encontrar por cima do local estabelecido para se colocar o tabuleiro, tal como é visível na Figura 78. Nesta situação, o que acontece é que o operador quando retira o PCB do tabuleiro, bate com o mesmo na placa do rato. Por sua vez, através da simulação, foi possível provar que no local onde ocorre

o embate coincide com o local onde o componente D23 está localizado. É de realçar que, apesar de não deixar marcas pretas nas placas, existe risco de o danificar.



Figura 78 – Localização do componente D23.

Neste sentido, a equipa considerou essencial remover a placa do rato.

Processo *Press-Fit*

Causa 4 “Pino de pré-posicionamento inadequado”

Através da observação do processo de colocação da placa Eletrónica no segundo *Press-Fit* verificou-se que, se o operador introduzir a placa de forma incorreta, esta colide com o pino que se encontra assinalado na Figura 79 a vermelho, acabando por danificar os componentes. Através da simulação foi possível constatar que a placa embate na mesma zona onde o componente D23 está localizado.

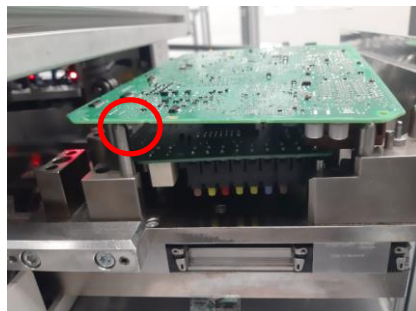


Figura 79 – Colisão da placa Eletrónica com o pino de pré-posicionamento do equipamento *Press-Fit*.

Com o objetivo de evitar a existência de componentes danificados sugere-se a substituição do pino em questão por um material mais adequado.

Transporte

Causa 6" *Standard Work* não está definido"

Uma das causas analisadas está relacionada com o modo de transporte dos PCBs. Através da simulação foi possível comprovar que se os colaboradores manusearem de forma incorreta os tabuleiros, por exemplo, se retirarem ou colocarem os tabuleiros na caixa executando um movimento oblíquo em vez de vertical, provoca o embate do tabuleiro em questão com o tabuleiro inferior, danificando o componente D23, tal como está representado na Figura 80.

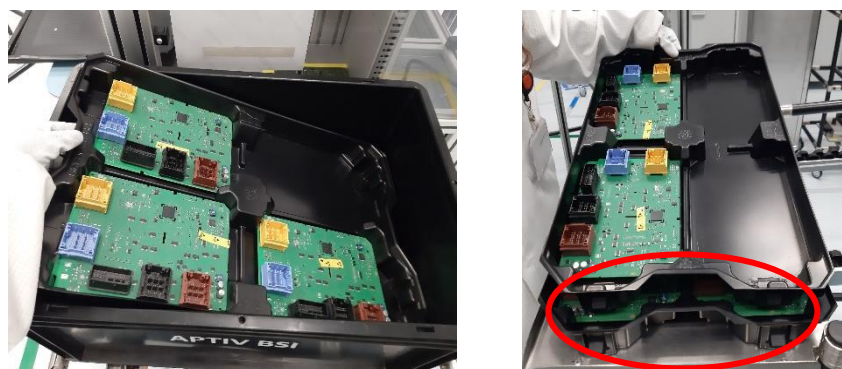


Figura 80 – Colisão do tabuleiro superior com o inferior.

Ao analisar esta situação observou-se que em cada tabuleiro pode-se colocar 4 PCBs, no entanto, o *design* das paredes do tabuleiro difere consoante o local onde se coloca o PCB. Assim, verificou-se que apenas o PCB que se encontra na posição "A" da Figura 81 pode ser danificado, pois a parede do tabuleiro é mais reduzida comparativamente às outras posições e, por isso, os componentes ficam desprotegidos. Por esta razão, o grau de dificuldade em simular esta situação foi elevado.

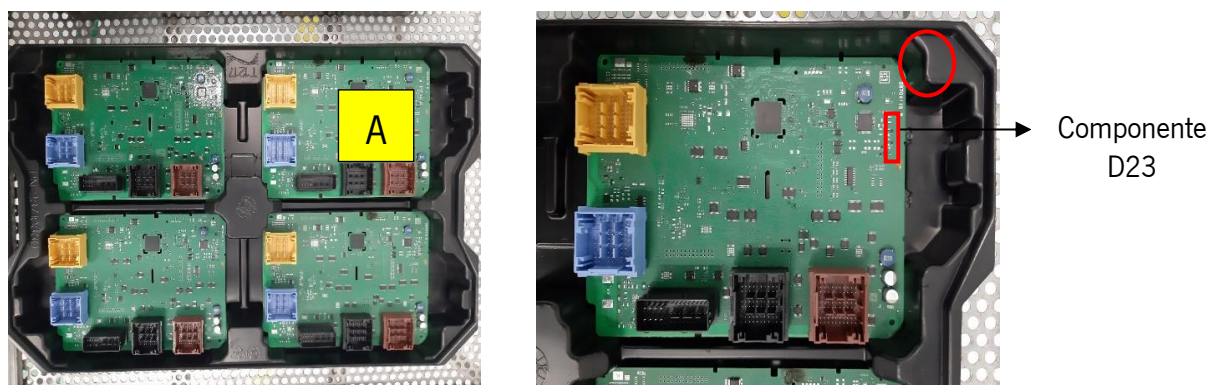


Figura 81 – Identificação do local, no tabuleiro, onde o componente D23 é danificado.

Seguindo esta linha de pensamento, verificou-se que o procedimento referente ao transporte dos tabuleiros não está descrito em nenhuma instrução de trabalho disponibilizada na base de dados da

empresa. Neste sentido, percebe-se que o tipo de movimento que o operador deve executar ao retirar ou colocar o tabuleiro da caixa não é claro.

É de realçar que o transporte de placas em tabuleiros ocorre entre quase todos os processos. Apesar de não agregar valor acrescentado ao produto esta é uma etapa necessária.

Assim, pode-se consultar na Tabela 3, a análise realizada aos potenciais riscos associados a cada etapa. Neste sentido, foi-lhes atribuído um determinado nível de risco (N- Não há risco, B- Risco baixo, E- Risco elevado).

Tabela 3 – Análise de risco do transporte das placas em tabuleiros.

Etapas do processo		Existe risco?	Observações
<i>X-RAY</i>	<i>Load</i>	N	
<i>X-RAY</i>	Teste	N	
<i>X-RAY</i>	<i>Unload</i>	N	
Transporte	Transporte <i>X-RAY</i> →Sistema de limpeza	N	O transporte das placas é realizado em <i>containers</i>
<i>Singulation</i>	<i>Load</i>	N	
<i>Singulation</i>	Corte	N	
<i>Singulation</i>	<i>Unload</i>	N	
Transporte	Transporte Sistema de limpeza→ICT	E	Colocação dos tabuleiros nas caixas, deixa marcas pretas
Transporte	Transporte Sistema de limpeza→ICT	E	Remoção dos tabuleiros das caixas, deixa marcas pretas
ICT	<i>Load</i>	N	
ICT	Teste	N	
ICT	<i>Unload</i>	N	
Transporte	Transporte ICT →Armazém (Edifício 2)	E	Colocação dos tabuleiros nas caixas, deixa marcas pretas
Transporte	Transporte Armazém (Edifício 2)→MOL	E	Remoção dos tabuleiros das caixas, deixa marcas pretas
MOL	<i>Load</i>	N	
MOL	Teste	N	
MOL	<i>Unload</i>	N	
Transporte	Transporte MOL→ Sistema de limpeza	B	Manuseamento dos tabuleiros, deixa marcas pretas
Sistema de limpeza	<i>Load</i>	N	
Sistema de limpeza	Limpeza	N	
Sistema de limpeza	<i>Unload</i>	N	
Transporte	Transporte Sistema de limpeza → <i>Coating</i>	B	Manuseamento dos tabuleiros, deixa marcas pretas
<i>Coating</i>	<i>Load</i>	N	
<i>Coating</i>	<i>Coating</i>	N	

Tabela 3 – Continuação.

Etapas do processo		Existe risco?	Observações
<i>Coating</i>	<i>Unload</i>	N	
Transporte	Transporte <i>Coating</i> → <i>Press-fit</i>	B	Manuseamento dos tabuleiros, deixa marcas pretas
<i>Press-Fit</i>	<i>Load</i>	N	
<i>Press-Fit</i>	Junção da placa <i>Power</i> com a Eletrónica	N	
<i>Press-Fit</i>	<i>Unload</i>	N	

Considerou-se N (Não há risco) quando o transporte das placas não era efetuado por tabuleiros, B (Risco baixo) quando o transporte era realizado por tabuleiros, mas não existe dificuldade em manuseá-los e, por último, atribuiu-se E (Risco Elevado) quando o transporte das placas é realizado por tabuleiros e os operadores têm mais dificuldade de os manusear, como é o caso de os colocarem ou retirarem das caixas.

Posto isto, pode-se concluir que o transporte das placas entre o processo *Singulation* e ICT, assim como entre ICT e MOL são etapas críticas do processo. É de salientar que, no processo *Singulation*, a placa fica sem os *arrays* e, é por este motivo, que após este processo as mesmas têm de ser transportadas por tabuleiros e não podem ser substituídos por *container*.

Por outro lado, modificar todos os tabuleiros da empresa iria exigir um elevado investimento. Deste modo, a sugestão da equipa passa pela sensibilização dos colaboradores para colocarem e retirarem os tabuleiros nas caixas realizando um movimento vertical. Além disso, considera-se necessária a elaboração de uma instrução de trabalho para o manuseamento dos tabuleiros.

4.3.6 Produto B: Componente L28

Com base na análise elaborada na fase de medição do projeto, para o componente L28, verificou-se que a causa raiz deste problema encontrava-se nos processos entre SMT e ASCW, inclusive. Assim, a equipa realizou uma sessão de *brainstorming* com o propósito de identificar nestes processos possíveis causas que danificam o componente em estudo. O culminar desta sessão resultou num diagrama de Ishikawa, ilustrado na Figura 82, cujas ideias foram estruturadas logicamente em 5 subgrupos maiores, mais concretamente em Método, Máquina, Meio Ambiente, Mão de Obra e Materiais.

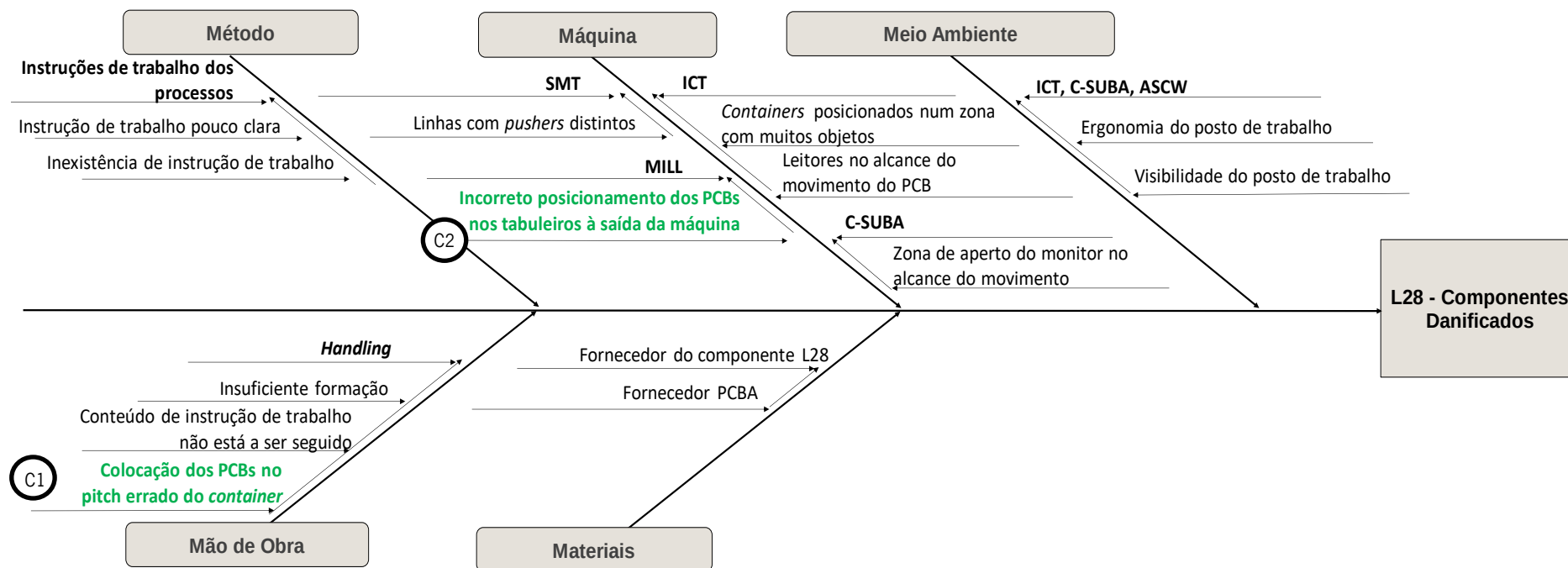


Figura 82 – Diagrama de Ishikawa para o componente L28 danificado.

Posteriormente, procedeu-se à análise de cada um destes fatores. Todavia, apenas duas destas causas foram observadas, estando identificadas no diagrama acima, a verde.

Causa 1 “Colocação do PCB no *pitch* errado”

A partir da observação dos *containers* verificou-se que os PCBs não eram colocados corretamente no *pitch*, dada a falta de identificação para tal. Na Figura 83, os processos ilustrados a vermelho representam os locais onde os operadores introduzem manualmente o PCB no *container* e, por isso, constatou-se que existe um elevado risco de colocarem o PCB no *pitch* errado, acabando por danificar o componente em questão.

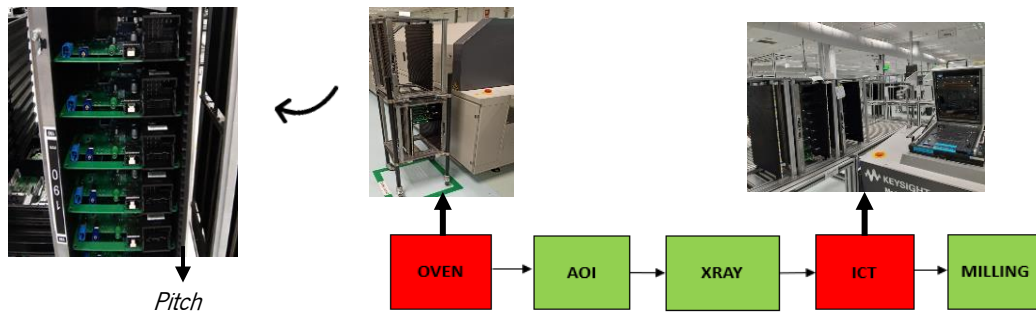


Figura 83 – Identificação dos processos onde a colocação do PCB nos containers é feita manualmente.

Neste sentido, a equipa propõe duas ações: a implementação de máscaras nas rampas de ICT (*error-proofing*) com o propósito de impedir que o PCB seja colocado no *pitch* incorreto e a colocação de uma régua nas laterais dos *containers* para ajudar os operadores a identificarem com mais facilidade onde é que têm de introduzir o PCB. Com a implementação destas ações espera-se também a redução de outros componentes que não são alvo do presente estudo como, por exemplo, os componentes C596, C597 e K130.

Processo *Milling*

Causa 2 “Incorreto posicionamento dos PCBs nos tabuleiros à saída da máquina”

No final do processo *Milling* os PCBs são direcionados automaticamente para os tabuleiros para que de seguida possam ser transportados para o processo seguinte. No entanto, ao observar a finalização deste processo verificou-se que, esporadicamente, quando o PCB sai da máquina este não entra diretamente nos suportes laterais que estabelecem a ligação entre a máquina e os tabuleiros, como mostra a Figura 84.

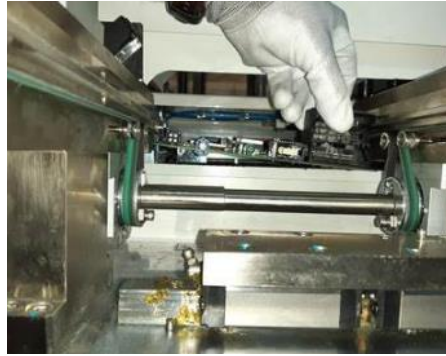


Figura 84 – Representação do incorreto posicionamento dos PCBs à saída da máquina.

Numa primeira fase, de forma a identificar a causa raiz deste problema analisou-se a programação da máquina, no entanto esta encontrava-se correta. Posteriormente, concluiu-se que nas situações em que o PCB se encontra no *pitch* errado, o mesmo é posicionado incorretamente nos suportes laterais que ligam a máquina e os tabuleiros. Por sua vez, como o componente L28 está localizado na parte inferior da placa este acaba por ser danificado.

Posto isto, a equipa propõe a criação de um sistema de “réguas” na *Milling* que impossibilite a danificação de componentes quando o PCB se encontra no *pitch* errado, uma vez que a régua impedirá o incorreto posicionamento do PCB à saída da máquina.

4.3.7 Produto B: Componente L20

Através da análise realizada na secção 4.2 verificou-se que a causa raiz deste problema estava num dos seguintes processos: *Milling*, C-SUBA e ASCW. Durante uma das visitas ao *Gemba* foi detetado um componente L20 arrancado no posto de trabalho ASCW. Assim, a equipa com o intuito de compreender o porquê desta situação ter ocorrido, elaborou um *5Why* apresentado na Figura 85.

Why (1) Porque é que o componente L20 é danificado no posto de trabalho ASCW?
Porque a mola do caixilho abre e embate no componente.
Why (2) Porque é que a mola do caixilho abre e embate no componente?
Porque o caixilho é removido após a sua montagem.
Why (3) Porque é que o caixilho é removido após a sua montagem?
A: Porque o operador não confirmou o resultado proveniente do leitor de verificação do conetor.
B: Porque o caixilho foi incorretamente montado.
Why (4) A: Porque é que o operador não confirmou o resultado proveniente do leitor de verificação do conetor?
B: Porque é que o caixilho foi incorretamente montado?
A: Porque não existia um sistema que impedisse que o operador colocasse o caixilho antes de confirmar o leitor de verificação do conetor.
B: Porque o operador não seguiu o <i>standard work</i> .

Figura 85 – *5Why* para o componente L20 danificado.

De facto, através da simulação, foi possível constatar que a remoção do caixilho danifica o componente L20, isto porque o caixilho tem, no seu interior, umas molas que quando o operador exerce pressão

sobre o mesmo para o remover estas ficam danificadas. Por sua vez, como o componente L20 está localizado muito próximo da mola a mesma acaba por arrancá-lo, Figura 86.



Figura 86 – Localização do componente L20 e da mola do caixilho no posto ASCW, respetivamente.

De salientar que a ação de remoção do caixilho não faz parte do *standard work* deste posto de trabalho. De acordo com o *5Why* realizado, verificou-se que uma das razões para que esta ação aconteça é porque, enquanto o leitor de verificação do conetor averigua a correta posição do conetor, o operador pega no caixilho "de forma automática" e avança com o procedimento sem consultar o resultado final do leitor, que está ilustrado no monitor presente neste posto de trabalho. Assim, se o sistema der o resultado NOK, o operador terá de retirar obrigatoriamente o caixilho para colocar corretamente o conetor. Outra razão está relacionada com a incorreta montagem do caixilho, sendo que quando esta situação acontece o operador tem de remover o caixilho para o colocar corretamente.

Neste sentido, a equipa sugere a adoção de duas ações. A primeira ação sugerida diz respeito à alteração do *software* do leitor de verificação do conetor. Assim, em situações em que o leitor verifique que o conetor não foi colocado corretamente, este deve ficar posicionado por cima da placa de forma a impedir que o operador coloque o caixilho. A segunda proposta consiste na alteração do *hardware*, ou seja, implementar uma "chapa" no processo ASCW, perto do componente L20, para prevenir que o operador ao retirar o caixilho não danifique a mola do mesmo e, por conseguinte, não arranque o componente L20.

4.3.8 Conclusão da fase de Analisar

Na presente fase do projeto, a equipa começou por visitar o *Gemba* e realizar auditorias aos processos do produto A e B, com o propósito de identificar possíveis causas que possam danificar cada componente em estudo. De seguida, realizou-se sessões de *brainstorming* com suporte a ferramentas como FTA, diagrama de Ishikawa e *5Why* para organizar as informações recolhidas. Após esta etapa foi necessário identificar se todas as causas apresentadas teriam ou não impacto para o componente e, por isso,

recorreu-se à simulação para provar quais as causas que realmente levavam ao aparecimento de componentes danificados.

Na Tabela 4 encontram-se sintetizadas, para cada componente, as respetivas causas.

Tabela 4 – Síntese das causas raiz associadas a cada componente danificado.

Componente Danificado	Causa Raiz	Processo
R4510, D901, C324, C325	Incorreto posicionamento do sensor	SMT
R4510, D901, C324, C325	Pegas e amortecedores no alcance do movimento	ICT
R4510, D901	Pinos pré-posicionadores com arestas perigosas	MOL
R4510, D901	Divisória central do equipamento	MOL
R4510, D901, D61, D23	Falta de otimização dos recursos	MOL
R4510, D901	Laterais do equipamento no alcance do movimento	PCB <i>Cleaning</i>
R4510, D901, D61	Paleta com arestas perigosas	PCB <i>Cleaning</i>
R4510, D901, D61	Pino central da paleta no alcance do movimento	<i>Coating</i>
R4510, D901, C324, C325, D23	Incorreto posicionamento das caixas e tabuleiros	<i>Singulation</i>
R4510, D901, C324, C325	Chapa metálica da rampa no alcance do movimento	<i>Singulation</i>
R4510, D901, C324, C325	Superfícies do equipamento mal protegidas	<i>Singulation</i>
D901	Lateral da gaveta do equipamento mal protegida	<i>Press-Fit</i>
C324 e C325	Pino lateral no alcance do movimento	ICT
D23	Embate nos pinos superiores do equipamento	ICT
D23	Placa do rato no alcance do movimento	ICT
D23	Pino de pré-posicionamento do equipamento inadequado	<i>Press-Fit</i>
D23	<i>Standard Work</i> não está definido	Transporte
L28	Colocação do PCB no <i>pitch</i> errado	ICT
L28	Incorreto posicionamento dos PCBs nos tabuleiros à saída da máquina	<i>Milling</i>
L20	Remoção do caixilho	ASCW

Como é sabido, os componentes são danificados devido a uma força localizada sobre estes. De um modo geral pode-se verificar, através da Tabela 4, que esta força pode ser exercida em qualquer processo produtivo pelo qual a placa passa.

Com base nas diferentes causas identificadas pode-se concluir que o principal fator que danifica os componentes é o incorreto manuseamento da placa por parte dos operadores. Todavia, isto só é possível porque os processos não são robustos o suficiente para evitarem que os operadores cometam erros. Neste sentido, as soluções propostas pela equipa devem passar pela implementação de sistemas à prova de erros e a sensibilização dos operadores para a problemática em estudo.

4.4 Fase Melhorar

Esta fase do ciclo DMAIC tem como intuito implementar soluções para os problemas enunciados na fase Analisar. Portanto, nesta etapa serão expostas as propostas de melhoria identificadas para eliminar as causas raiz que contribuem para o aparecimento de componentes danificados do produto A e B.

Na Tabela 5 encontram-se sintetizadas, para cada componente, as respectivas causas e propostas de melhoria sugeridas pela equipa para mitigar e, se possível, eliminar o aparecimento de componentes danificados.

Tabela 5 – Resumo da causa raiz e respectivas ações corretivas.

Componente Danificado	Causa Raiz	Item	Ação Corretiva	Processo
R4510, D901, C324, C325	Incorreto posicionamento do sensor	1	Alteração do sensor do <i>unloader</i>	SMT
		2	Implementação de um suporte para fixar os <i>containers</i>	SMT
R4510, D901, C324, C325	Pegas e amortecedores no alcance do movimento	3	Alteração do formato das pegas	ICT
		4	Modificação da posição dos amortecedores	ICT
R4510, D901	Pinos pré-posicionadores com arestas perigosas	5	Substituição dos pinos por um material mais apropriado	MOL
		6	Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas	MOL
R4510, D901	Divisória central do equipamento	7	Corte parcial da divisória central	MOL
R4510, D901, D61, D23	Falta de otimização dos recursos	8	Reconfiguração do sistema das bases de MOL	MOL
R4510, D901	Laterais do equipamento no alcance do movimento	9	Alteração da paleta de 6 para 4 cavidades	PCB Cleaning
R4510, D901, D61	Paleta com arestas perigosas	10	Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas	PCB Cleaning
		11	Retrabalhar as bordas da paleta	PCB Cleaning
R4510, D901, D61	Pino central da paleta no alcance do movimento	12	Retrabalhar a paleta	Coating
		13	Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas	Coating
R4510, D901, C324, C325, D23	Incorreto posicionamento das caixas e tabuleiros	14	Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas	Singulation
R4510, D901, C324, C325	Chapa metálica da rampa no alcance do movimento	15	Remoção parcial da chapa da rampa	Singulation
R4510, D901, C324, C325	Superfícies do equipamento mal protegidas	16	Colocação de borracha protetora nas superfícies mal protegidas	Singulation
D901	Lateral da gaveta do equipamento mal protegida	17	Alteração das laterais da gaveta do equipamento	Press-Fit
C324 e C325	Pino lateral no alcance do movimento	18	Redução do tamanho do pino	ICT

Tabela 5 – Continuação.

Componente Danificado	Causa Raiz	Item	Ação Corretiva	Processo
D23	Embate nos pinos superiores do equipamento	19	Sensibilização dos operadores para esta problemática	ICT
D23	Placa do rato no alcance do movimento	20	Remoção da placa do rato	ICT
D23	Pino de pré-posicionamento do equipamento inapropriado	21	Substituição do pino por um material mais adequado	<i>Press-Fit</i>
D23	<i>Standard Work</i> não está definido	22	Sensibilização dos colaboradores para colocarem e retirarem os tabuleiros nas caixas realizando um movimento vertical	Transporte
		23	Elaboração de uma instrução de trabalho para o manuseamento dos tabuleiros	Transporte
L28	Colocação do PCB no <i>pitch</i> errado	24	Implementação de máscaras nas rampas de ICT	ICT
		25	Colocação de uma régua nas laterais dos <i>containers</i>	-
L28	Incorreto posicionamento dos PCBs nos tabuleiros à saída da máquina	26	Criação de um sistema de “régua”	<i>Milling</i>
L20	Remoção do caixilho	27	Alteração do mecanismo de <i>software</i> do leitor de verificação do conetor	ASCW
		28	Implementação de um mecanismo de <i>hardware</i> na base do equipamento	ASCW

Dado o número de fatores identificados na Tabela 5, houve a necessidade de estabelecer prioridades de resolução de problemas, visto que é impossível abordá-los todos durante este projeto, dado o limite temporal do estágio. Assim, à medida que eram recolhidas evidências das causas que danificavam os componentes, a equipa reunia-se no sentido de encontrar uma solução viável para essa problemática. Por essa razão, as ações corretivas iam sendo implementadas sempre segundo uma avaliação do esforço *versus* o impacto.

Na Figura 87 está representada a síntese da matriz com estas duas variáveis. É de notar que esta matriz tem um eixo vertical e outro horizontal. O primeiro eixo diz respeito ao impacto que cada ação terá na redução dos componentes danificados. Já o eixo horizontal está relacionado com o esforço necessários para implementar as ações, quer seja em termos de recursos monetários ou tempo despendido.

Além disso, esta matriz encontra-se dividida nos seguintes quadrantes:

- Fazer agora: estas ações devem ser priorizadas, já que resultam num alto impacto para a empresa através de um baixo esforço;
- Programar para fazer: a implementação destas ações também geram grandes resultados para a empresa, todavia é necessário despende mais recursos como por exemplo, no tempo em planear como é que as ações devem ser executadas;

- Fazer quando der: se por um lado estas ações exigem pouco esforço, por outro os resultados gerados também são baixos e, por isso, é aconselhável analisar se estas ações são verdadeiramente necessárias;
- Ignorar: a implementação destas ações devem ser evitadas sempre que possível, uma vez que requerem um elevado investimento financeiro e o retorno/impacto obtido pela empresa é bastante reduzido.

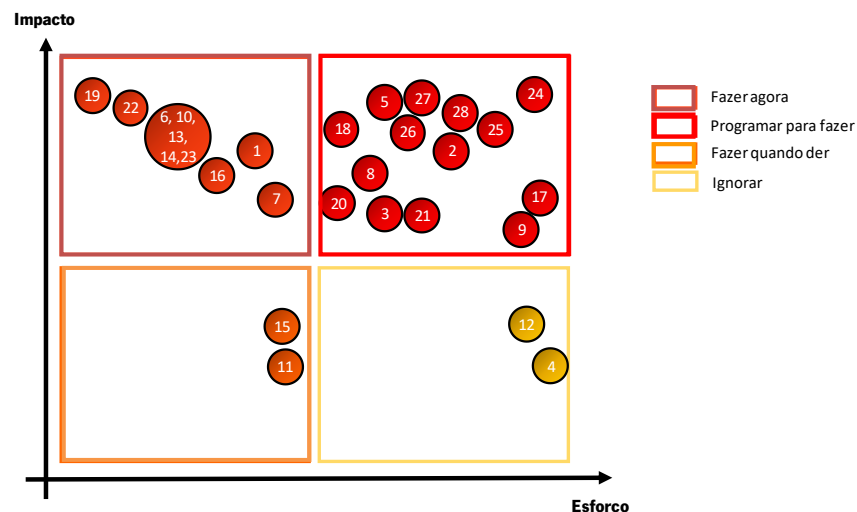


Figura 87 – Síntese da matriz esforço vs impacto.

Cada ação corretiva encontra-se indicada na matriz de acordo com a numeração que, anteriormente, já tinha sido atribuída na Tabela 5.

Neste projeto, a equipa definiu que apenas serão implementadas as ações pertencentes ao quadrante “Fazer agora”, “Programar para fazer” e “Fazer quando der”, dado que o esforço necessário para executar as restantes ações (ação 4 e 12) não irão refletir em benefícios significativos para a empresa.

Em termos gerais, procurou-se dar prioridade às ações indicadas no quadrante “Fazer agora”, visto que estas acarretam um esforço reduzido para serem implementadas e contribuem com grande impacto para a redução dos componentes danificados. Só depois é que foram realizadas as ações pertencentes ao quadrante “Programar para fazer”, uma vez que são ações complexas e que exigem a compra de materiais ou a paragem da produção e, por último, as ações do quadrante “Fazer quando der”, porque quer o esforço como os resultados obtidos são baixos.

No Apêndice 3 é possível consultar o plano de ação elaborado para o presente projeto. Algumas das ações têm data prevista de realização para um período após o término do presente estágio, pela razão anteriormente referida (ação 11, 15, 24 e 26).

De seguida serão apresentadas as alterações feitas aos processos:

- **Ação 1 – Alteração do sensor do *unloader*, em SMT**

Uma das ações implementadas foi a alteração do sensor do *unloader*, em SMT, como está exibido na Figura 88. Esta modificação visa impossibilitar o incorreto posicionamento do *container* e, por conseguinte, impedir que os componentes sejam danificados neste local.



Figura 88 – Antes e depois da alteração do sensor do *unloader*.

- **Ação 2 – Implementação de um suporte para fixar os *containers***

Em relação à ação 2, foi implementado um suporte, em SMT, para fixar os *containers* para que estes não se afastem do local pretendido, evitando a possibilidade de as placas caírem, Figura 89.



Figura 89 – Depois da implementação de um suporte para fixar os *containers*.

- **Ação 3 – Alteração do formato das pegas**

Outra ação efetuada foi a alteração do formato das pegas, pois as mesmas encontravam-se no alcance do movimento da placa, Figura 90.

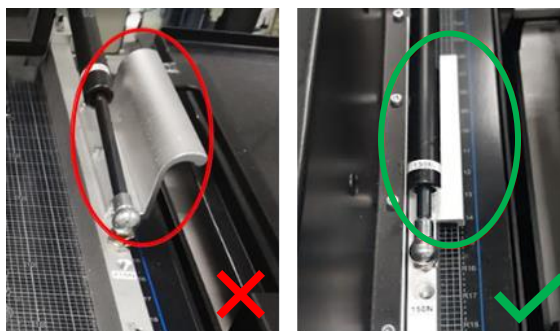


Figura 90 – Antes e depois da alteração do formato das pegas de ICT.

- **Ação 4 – Modificação da posição dos amortecedores, em ICT**

Como supramencionado, definiu-se que os amortecedores das bases de ICT (ação 4) não iriam ser modificados porque requerem um grande investimento financeiro por parte da empresa e o seu impacto, em termos de redução de componentes danificados, não é muito elevado. Porém, ficou decidido que quando existir a necessidade de adquirir uma nova base de ICT, a alteração da posição dos amortecedores irá ser realizada.

- **Ação 5 – Substituição dos pinos por um material mais apropriado, em MOL**

No processo MOL substituiu-se os pinos observados na Figura 91 à esquerda, por outros com um material que atenua o risco de causar danos nos componentes.

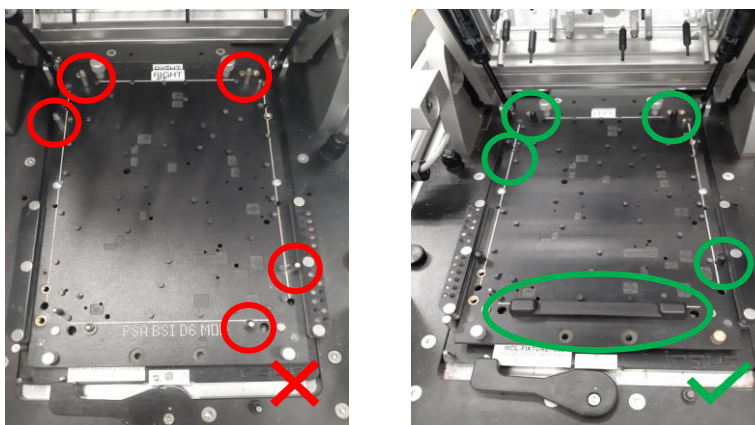


Figura 91 – Antes e depois da substituição dos pinos de MOL.

- **Ação 6, 10, 13, 14, 19, 22 e 23 – Sensibilização dos operadores e implementação de *quality alerts* e instruções de trabalho**

A sensibilização dos operadores para manusearem corretamente a placa é uma ação obrigatória devido ao seu alto potencial de impacto na redução do número de componentes danificados. De forma a reforçar

esta ideia foram implementados *quality alerts* nos processos PCB *Cleaning*, *Singulation*, MOL, *Coating* (ação 10, 14, 6 e 13, respetivamente), ilustrada na Figura 92 e Apêndice 4, 5, 6 e 7. Além disso, foi elaborada uma instrução de trabalho específica para a colocação e remoção dos tabuleiros nas caixas (ação 23), Apêndice 8. Para garantir que todos os operadores eram conhecedores desta iniciativa, as chefias reuniram-se com os mesmos, durante as reuniões diárias na fábrica, para os alertar sobre esta questão e para os consciencializar das consequências inerentes ao mau manuseamento das placas e tabuleiros (ação 19 e 22).



Figura 92 – Implementação de *Quality Alerts* nos processos PCB *Cleaning*, *Coating*, MOL e *Singulation*, respetivamente.

Para complementar esta ação, os *quality alerts* e a instrução de trabalho foram introduzidos e disponibilizados na plataforma interna da organização, para que todos os colaboradores tenham acesso e possam consultá-los sempre que necessário.

- **Ação 7 – Corte parcial da divisória central das bases de MOL**

Relativamente à ação 7, efetuou-se o corte parcial da divisória central das bases de MOL para evitar que, quando o operador manuseia a placa, esta colida nesta zona, Figura 93.

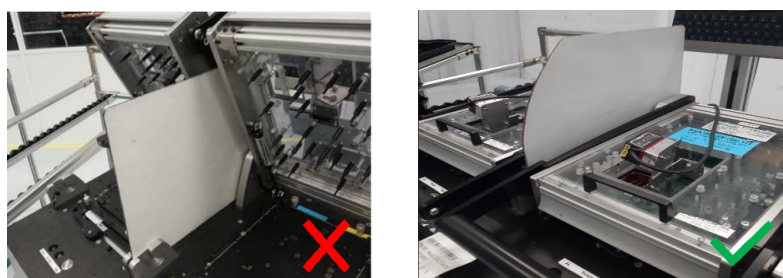


Figura 93 – Antes e depois do corte parcial da divisória central das bases de MOL.

- **Ação 8 – Reconfiguração do sistema das bases de MOL**

Relativamente à ação 8, reconfigurou-se o sistema das bases de MOL com o objetivo de reduzir o excessivo manuseamento da placa. Como se pode observar através da Figura 94, esta ação reduziu o número de falhas detetadas em cada posto de trabalho MOL, bem como o indicador FTQ.

Station	Tested	Failed	FTO
MOL--001	1392	46	33046
MOL--001/0	7574	415	54793
MOL--001/1	7553	384	50841
MOL--002	1353	41	30303
MOL--002/0	7289	214	29359
MOL--002/1	7573	224	29579
MOL--003	1375	21	15273
MOL--003/0	7561	109	14416
MOL--003/1	7598	222	29218
MOL--004	1357	39	28740
MOL--004/0	7569	279	36861
MOL--004/1	7581	119	15697
MOL--005	1364	38	27859
MOL--005/0	7553	307	40646
MOL--005/1	7594	271	35686

Station	Tested	Failed	FTO
MOL--001/0	5540	43	7762
MOL--001/1	5522	43	7787
MOL--002/0	5882	42	7140
MOL--002/1	5878	54	9187
MOL--003/0	5431	24	4419
MOL--003/1	5404	15	2776
MOL--004/0	5894	55	9332
MOL--004/1	5886	25	4247
MOL--005/0	5759	163	28304
MOL--005/1	5391	60	11130

Figura 94 – Antes e depois da reconfiguração do sistema das bases de MOL.

- **Ação 9 – Alteração da paleta de PCB *Cleaning* de 6 para 4 cavidades**

Outra ação implementada foi a alteração da paleta de PCB *Cleaning* de 6 para 4 cavidades para minimizar a possibilidade da placa embater nas laterais do equipamento, Figura 95.

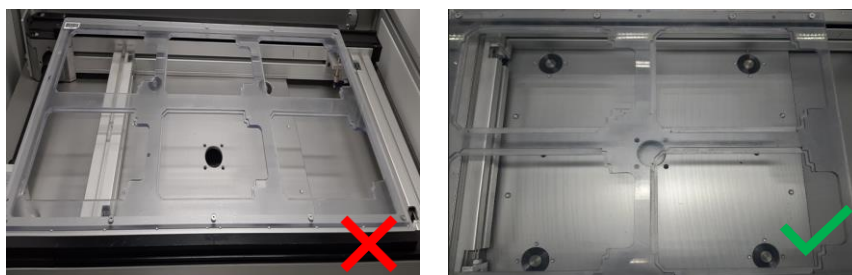


Figura 95 – Antes e depois da alteração da paleta de PCB *Cleaning*.

- **Ação 16 – Colocação de uma borracha protetora nas superfícies mal protegidas da *Singulation***

Procedeu-se também à colocação de borrachas protetoras nas superfícies mal protegidas, no processo *Singulation*, de forma a reduzir o impacto do embate da placa nestas superfícies, ilustrada na Figura 96.

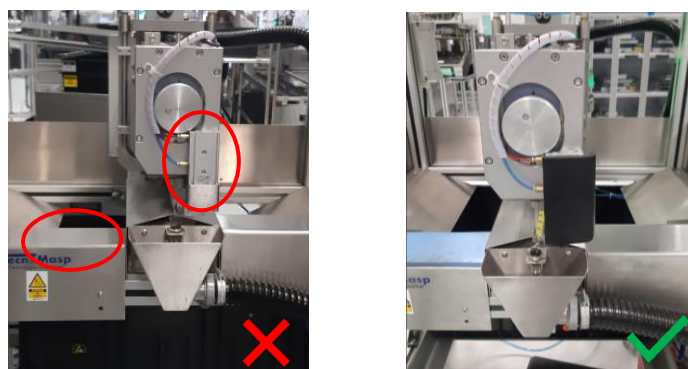


Figura 96 – Antes e depois da colocação de uma borracha protetora nas superfícies mal protegidas da Singuladora.

- **Ação 17 – Alteração das laterais da gaveta do equipamento *Press-Fit***

Destaca-se ainda a alteração das laterais da gaveta do equipamento *Press-Fit*. De forma particular, cortaram-se as laterais da gaveta e bolearam-se as bordas da gaveta para diminuir e amortecer possíveis embates neste local, como está apresentado na Figura 97.

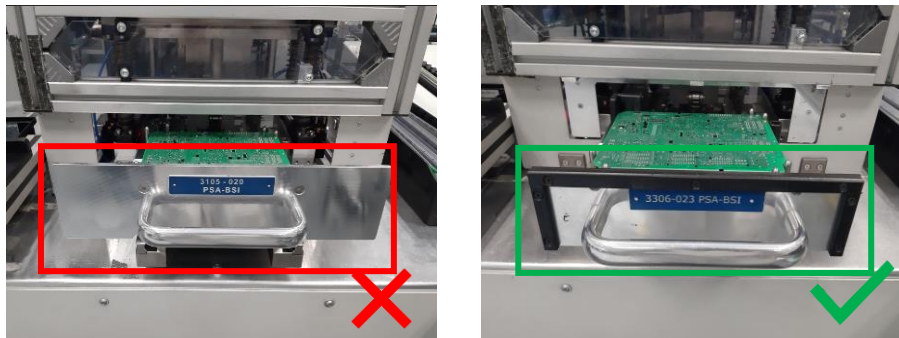


Figura 97 – Antes e depois da alteração das laterais da gaveta do equipamento *Press-Fit*.

- **Ação 18 – Redução do tamanho do pino de ICT**

No que concerne à ação 18, foi reduzido o tamanho do pino tal como mostra a Figura 98, dado que a placa, quando era introduzida na base do ICT, colidia neste pino.

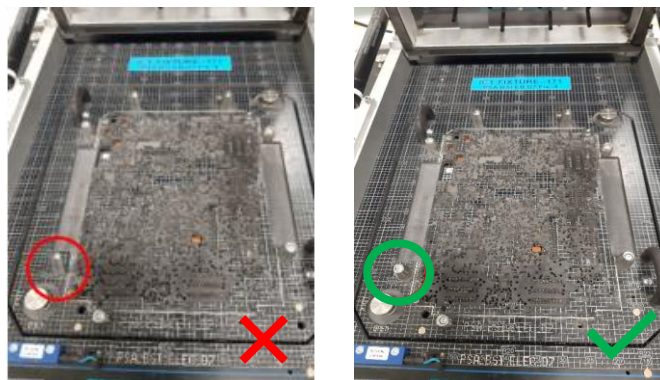


Figura 98 – Antes e depois da redução do tamanho do pino.

- **Ação 20 – Remoção da placa do rato, em ICT**

Quanto à ação 20, procedeu-se à remoção da placa do rato no processo ICT, uma vez que esta se encontrava no alcance do movimento da placa, Figura 99.



Figura 99 – Antes e depois da remoção da placa do rato.

- **Ação 21 – Substituição do pino por um material apropriado, no *Press-Fit***

Além disso, tal como está ilustrado na Figura 100, o pino foi substituído por um material mais apropriado para reduzir o impacto do embate da placa neste local.

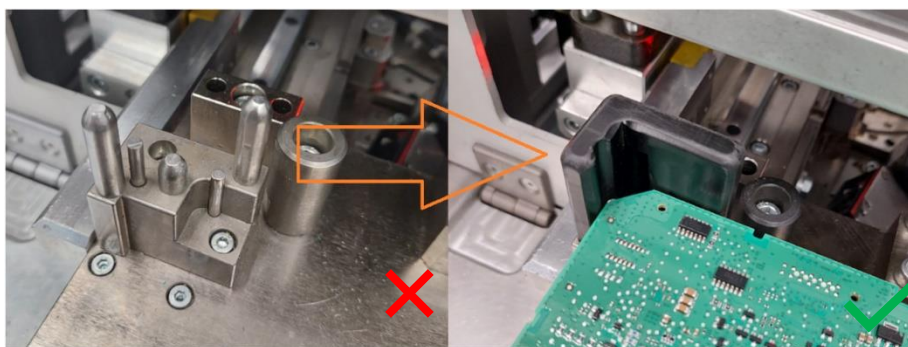


Figura 100 – Antes e depois da substituição de um pino no equipamento *Press-Fit*.

- **Ação 24 – Colocação de uma máscara nas rampas de ICT**

Em relação à ação 24, isto é, à colocação de uma máscara nas rampas de ICT, ainda não foi implementada. Apesar de já se ter um protótipo para a máscara, esta encontra-se em fase de teste (Figura 101). No entanto, acredita-se que quando esta ação for adotada terá um grande impacto na redução do componente L28.

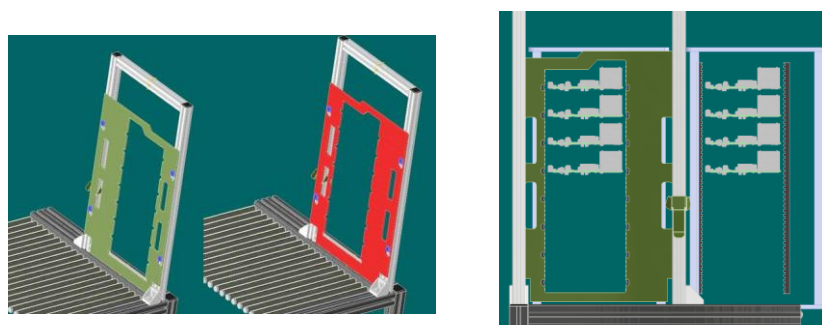


Figura 101 – Protótipo das máscaras para as rampas de ICT.

- **Ação 25 – Colocação de uma régua nas laterais dos *containers***

No que concerne à ação 25, foi colocada uma régua nas laterais dos *containers* para auxiliar os operadores a posicionarem o PCB no *pitch* correto pois, caso contrário, as placas podem colidir umas nas outras, acabando por arrancar os componentes (Figura 102).

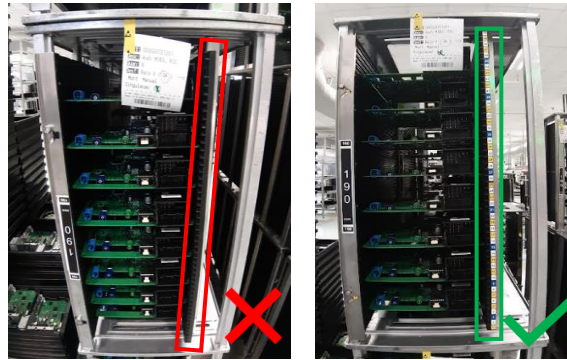


Figura 102 – Antes e depois da colocação de uma régua nas laterais dos *containers*.

- **Ação 27 e 28 – Alteração do *software* do leitor de verificação do conetor e implementação de uma chapa na base do equipamento ASCW**

Relativamente às ações 27 e 28, efetuou-se a alteração do mecanismo de *software* do leitor de verificação do conetor e foi implementado um mecanismo de *hardware* na base do equipamento (Figura 103), respetivamente. Estas duas ações vão contribuir para reduzir o aparecimento de componentes L20 danificados.

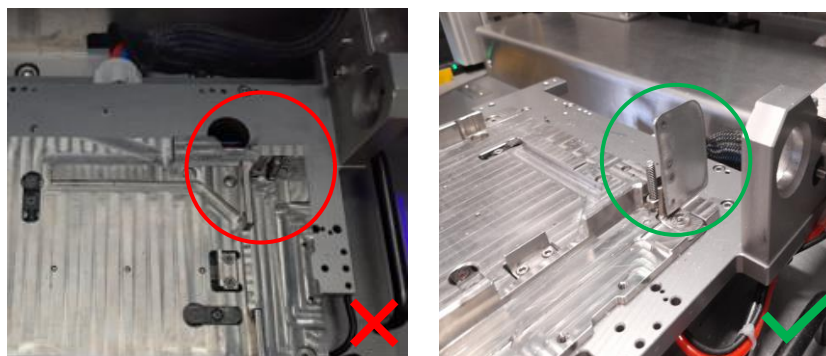


Figura 103 – Antes e depois da implementação de uma chapa na base do equipamento ASCW.

4.5 Fase Controlar

Esta fase assume um papel predominante na medida em que avalia a eficácia das ações propostas na fase Melhorar. Através da sua monitorização e padronização é possível sustentar as oportunidades de melhoria identificadas.

No decorrer deste projeto de melhoria contínua, a equipa acompanhou diariamente o aparecimento de componentes danificados para que possíveis erros e problemas que pudessem surgir após a implementação das ações de melhorias fossem rapidamente detetados.

Assim, a equipa estabeleceu para a fase de controlo do projeto o período 2Q de 2021 e, para averiguar a eficácia das ações implementadas, confrontaram-se estes valores com os valores obtidos na fase Definir (4Q de 2020).

Tal como foi mencionado na fase Definir, a equipa do projeto propôs-se a reduzir, em PPMs, 15% de todos os componentes danificados da empresa. No entanto, é de notar que a equipa apenas se focou nos produtos A e B e, por isso, apenas com as ações implementadas para estes produtos conseguiu reduzir, em PPMs, 13% dos componentes danificados (Figura 104). Posto isto, a equipa ficou muito próximo do *target* definido inicialmente.

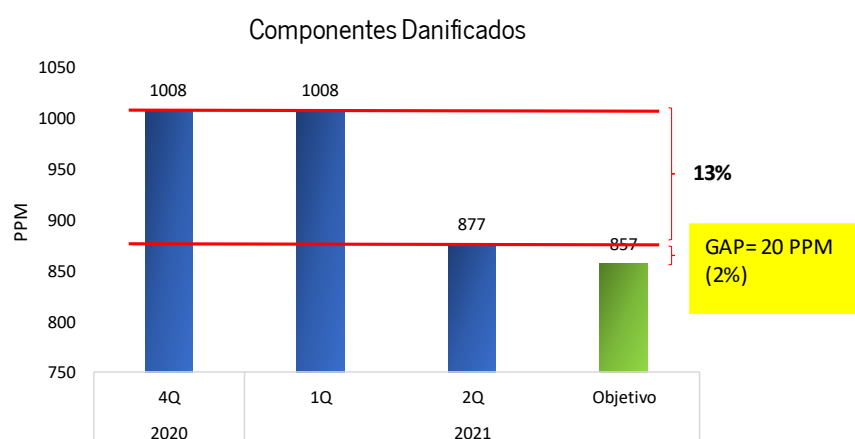


Figura 104 – Evolução dos componentes danificados, em PPMs.

Além desta meta, foi estabelecido reduzir, em PPMs, 20% dos componentes danificados do produto A e B. No que concerne ao produto A, a empresa obteve no 2Q de 2021, 298 PPMs de componentes danificados. Desta forma, conseguiu-se reduzir, em PPMs, 31% dos componentes danificados face ao período 4Q de 2020, o que significa que o objetivo foi superado com êxito (Figura 105).

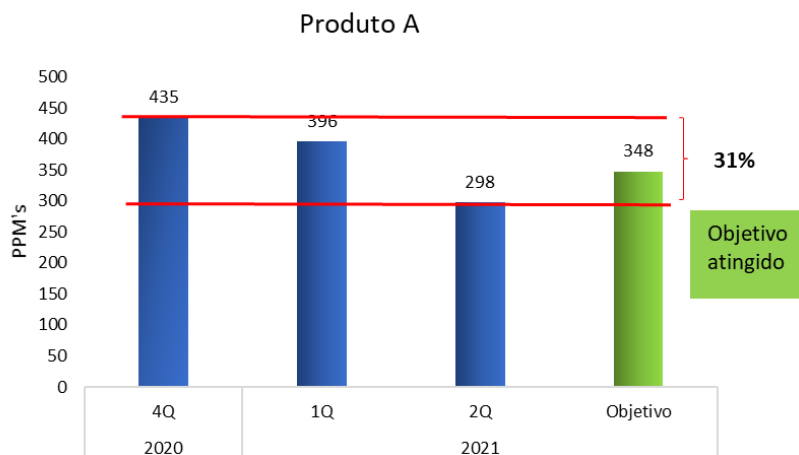


Figura 105 – Evolução dos componentes danificados, do produto A, em PPMs.

Além disso, no mês de controlo verificou-se, a nível monetário, uma redução de 58% comparativamente aos meses de referência (4Q 2020), como está apresentado na Figura 106.

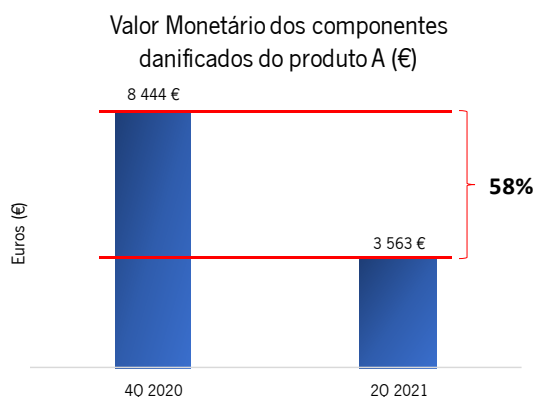


Figura 106 – Valor monetário dos componentes danificados do produto A (€).

Portanto, este resultado comprova que as causas raiz do problema foram identificadas e que as ações corretivas definidas foram implementadas com sucesso.

Em relação ao produto B, pode-se observar através do gráfico da Figura 107 que a empresa, para o período 2Q de 2021, conseguiu atingir 272 PPMs. Deste modo, houve uma redução de componentes danificados, em PPMs, de 21% face à situação inicial definida no início do projeto (4Q 2020).

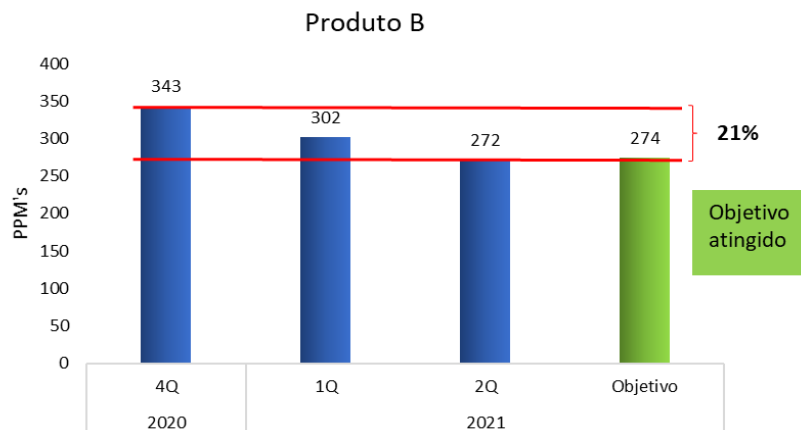


Figura 107 – Evolução dos componentes danificados, do produto B, em PPMs.

Por outro lado, a nível monetário, a empresa em 4Q de 2020 teve um custo de 2.530,00€ (dois mil quinhentos e trinta euros) com os componentes danificados deste produto. Não obstante, em 2Q de 2021, a mesma teve de suportar um custo de 3.516,00€ (três mil quinhentos e dezasseis euros), ou seja, ocorreu um aumento de 33%, tal como está ilustrado na Figura 108.

Apesar da equipa ter conseguido atingir o objetivo inicialmente proposto, ou seja, reduzir em PPMs, 20% dos componentes danificados do produto B, já era expectável o aumento dos custos, uma vez que a empresa está a passar por um processo de mudança com um elevado foco na qualidade dos seus produtos. Neste sentido, a mesma definiu um novo procedimento para as quedas de material, onde ficou estabelecido que qualquer placa que sofra uma queda tem de ser enviada para refugo. Por esta razão, existe um aumento de placas a serem enviadas para refugo ao invés de serem retrabalhadas, sendo que o valor unitário de cada placa que vai para refugo é muito superior ao custo de retrabalho.

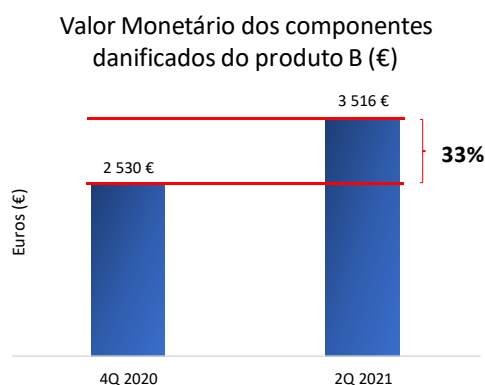


Figura 108 – Valor monetário dos componentes danificados do produto B (€).

Depois de se analisar os indicadores de desempenho que medem a eficiência deste projeto, apresentar-se-á para cada componente estudado, a evolução mensal dos componentes danificados, em PPMs. Deste

modo, pretende-se deter uma melhor compreensão do impacto e da eficácia das ações de melhoria implementadas. Nos gráficos abaixo, os números atribuídos a cada círculo correspondem à ação corretiva que foi implementada no respetivo mês.

Componente R4510

Em relação ao componente R4510 observa-se, através do gráfico da Figura 109, uma redução bastante significativa de componentes danificados detetados em ICT, no mês de dezembro de 2020. A partir deste mês verificou-se pequenas oscilações. No que concerne ao número de componentes detetados em FT, denota-se uma tendência decrescente ao longo dos tempos, o que significa que as ações corretivas implementadas foram importantes para minimizar o aparecimento deste componente danificado.

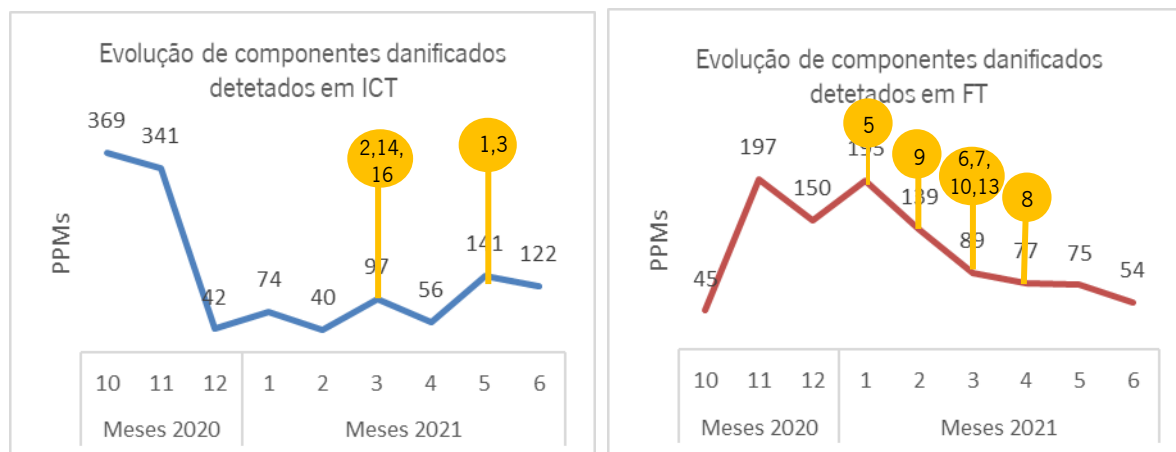


Figura 109 – Evolução do componente danificado R4510, em ICT e FT, e as suas respetivas ações de melhoria.

Componente D901

Tendo como base os gráficos da Figura 110 depreende-se que os componentes D901, detetados em ICT, apresentam uma tendência decrescente ao longo dos últimos meses. Quanto aos componentes detetados em FT, pode-se observar um pico no mês de março de 2021. No entanto, a partir deste mês os PPMs têm vindo a reduzir continuamente, dada a implementação das ações corretivas adotadas nos processos antes deste *quality gate*.

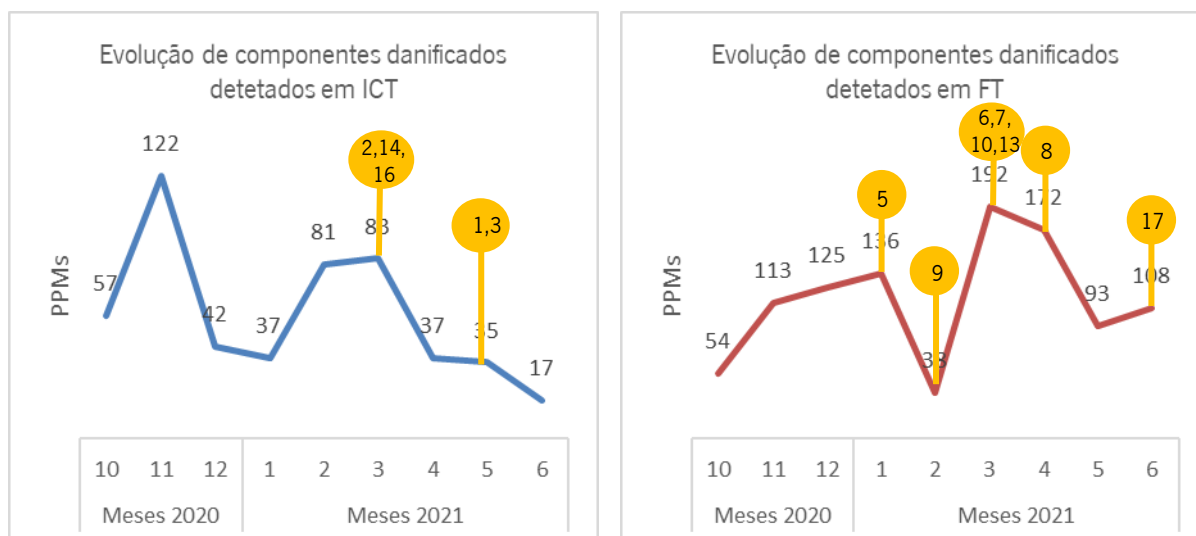


Figura 110 – Evolução do componente danificado D901, em ICT e FT, e as suas respetivas ações de melhoria.

Componente C324 e C325

No que diz respeito à Figura 111, verifica-se que, apesar de se observar algumas oscilações, os componentes C324 e C325 detetados em ICT têm vindo a diminuir ao longo dos meses, em resposta às ações aplicadas.

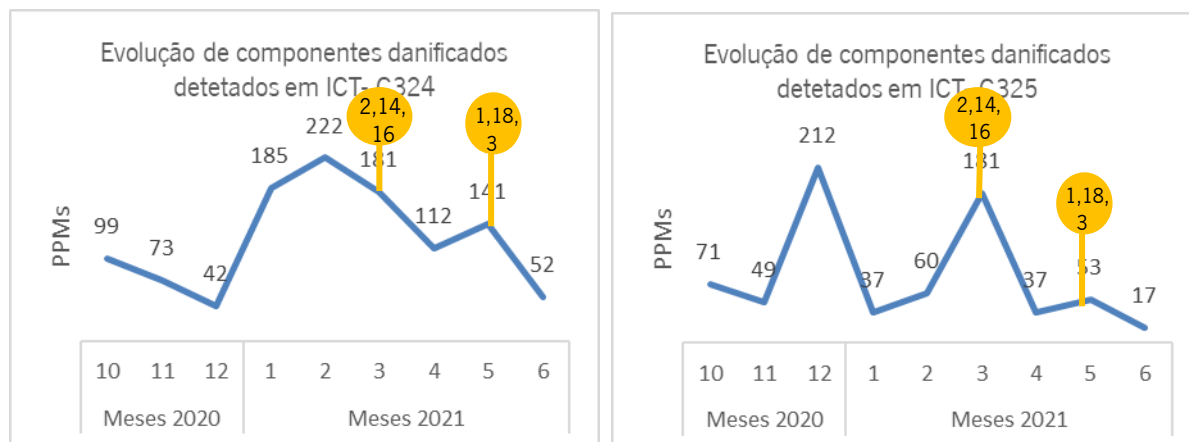


Figura 111 – Evolução dos componentes danificados C324 e C325, em ICT, e as suas respetivas ações de melhoria.

Componente D61

A partir da observação do gráfico da Figura 112, percebe-se que a evolução de componentes danificados D61 detetados em FT, diminuiu drasticamente ao longo dos meses, conseguindo em junho de 2021 deter o aparecimento destes componentes danificados, o que indica que a causa raiz foi eliminada.



Figura 112 – Evolução do componente danificado D61, em FT, e as suas respetivas ações de melhoria.

Componente D23

Quanto à evolução do número de componentes D23 danificados, ilustrados na Figura 113, constata-se algumas variações, sendo que nos meses de março e maio foi possível produzir, nos processos antes de ICT, zero defeitos deste componente. O mesmo aconteceu no mês de fevereiro, nos processos que antecedem o FT.

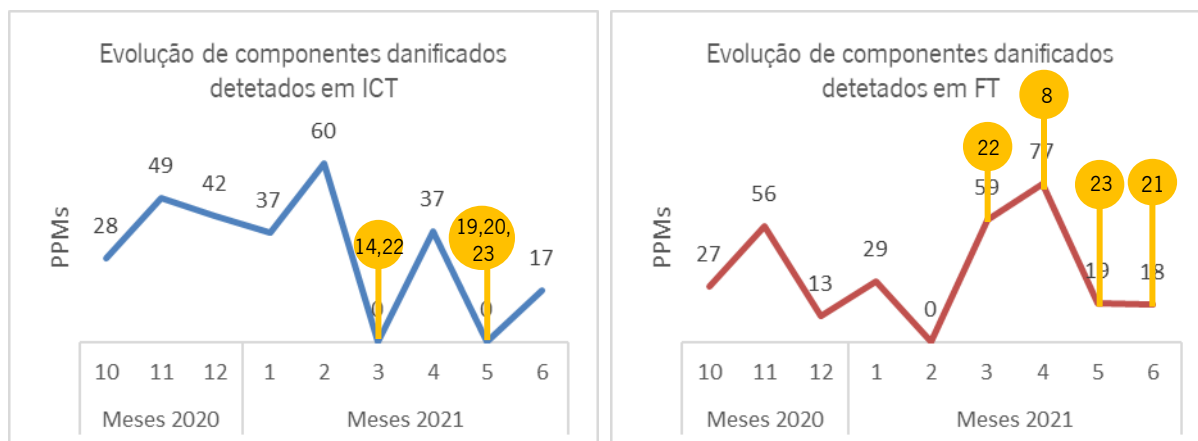


Figura 113 – Evolução do componente danificado D23, em ICT e FT, e as suas respetivas ações de melhoria.

Componente L28

Tal como mostra a Figura 114, os componentes detetados em ICT tem vindo a sofrer uma diminuição, progressiva, após a implementação da ação "Colocação de uma régua nas laterais dos *containers*". Por sua vez, nos meses de maio e julho de 2021 ocorreu um aumento significativo do número de componentes L28 danificados, detetado em FT. Esta situação já era esperada por parte da equipa porque, no mês de maio, surgiram problemas de soldadura em determinados componentes, o que levou à realização de uma contenção durante esse período. Assim, já era expectável que o aumento de manuseamento da placa inerente à contenção se refletisse no aumento de defeitos.

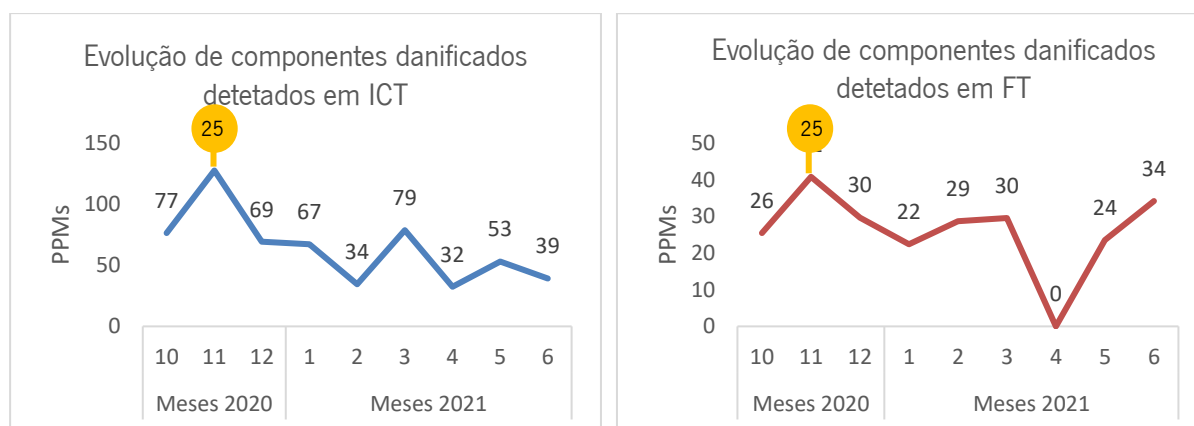


Figura 114 – Evolução do componente danificado L28, em ICT e FT, e as suas respetivas ações de melhoria.

Componente L20

Tal como mostra a Figura 115, os componentes detetados em FT sofreram uma diminuição drástica, dado o êxito das ações implementadas (ação 28 e 27).

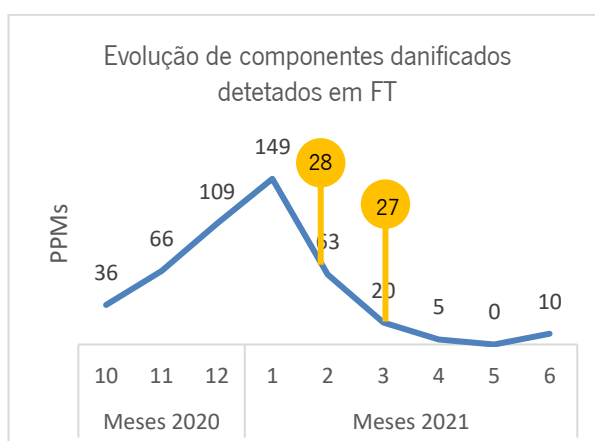


Figura 115 – Evolução do componente danificado L20, em FT, e as suas respetivas ações de melhoria.

De uma forma geral, pode-se verificar que as ações implementadas contribuíram positivamente para a redução de componentes danificados, visto que a maior parte dos gráficos apresenta uma tendência decrescente.

Na Tabela 6, é possível observar a influência das ações implementadas na redução de componentes danificados. Este estudo comparou os dados do período 4Q de 2020 com o 2Q de 2021. Para simplificar a análise da tabela, utilizou-se (-) para representar a diminuição de componentes danificados (cor verde) e (+) para o aumento dos mesmos (cor amarela).

Tabela 6 – Síntese do impacto de cada ação, para cada componente.

Componente	Quality Gate ICT		Quality Gate FT	
	Ações de melhoria	Variação de componentes danificados, em PPMs (%)	Ações de melhoria	Variação de componentes danificados, em PPMs (%)
R4510	No processo SMT: Alteração do sensor do <i>unloader</i> (ação 1); Implementação de um suporte para fixar os <i>container</i> (ação 2); No processo <i>Singulation</i>: Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 14); Colocação de borracha protetora nas superfícies mal protegidas (ação 16).	(-) 40%	No processo MOL: Substituição dos pinos por um material mais apropriado (ação 5); Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 6); Corte parcial da divisória central (ação 7); Reconfiguração do sistema das bases (ação 8); No processo PCB <i>Cleaning</i>: Alteração da paleta de 6 para 4 cavidades (ação 9); Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 10) No processo de <i>Coating</i>: Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 13);	(-) 63%
D901	No processo SMT: Alteração do sensor do <i>unloader</i> (ação 1); Implementação de um suporte para fixar os <i>container</i> (ação 2); No processo <i>Singulation</i>: Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 14); Colocação de borracha protetora nas superfícies mal protegidas (ação 16).	(-) 60%	No processo MOL: Substituição dos pinos por um material mais apropriado (ação 5); Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 6); Corte parcial da divisória central (ação 7); Reconfiguração do sistema das bases (ação 8); No processo PCB: <i>Cleaning</i>: Alteração da paleta de 6 para 4 cavidades (ação 9); Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 10) No processo de <i>Coating</i>: Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 13); No processo <i>Press-Fit</i>: Alteração das laterais da gaveta do equipamento (ação 17).	(+) 31%
C324	No processo SMT: Alteração do sensor do <i>unloader</i> (ação 1); Implementação de um suporte para fixar os <i>container</i> (ação 2); No processo <i>Singulation</i>: Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 14); Colocação de borracha protetora nas superfícies mal protegidas (ação 16); No processo ICT: Redução do tamanho do pino (ação 18).	(+) 24%		-

Tabela 6 – Continuação.

Componente	Quality Gate ICT		Quality Gate FT	
	Ações de melhoria	Variação de componentes danificados, em PPMs (%)	Ações de melhoria	Variação de componentes danificados, em PPMs (%)
C325	No processo SMT: Alteração do sensor do <i>unloader</i> (ação 1); Implementação de um suporte para fixar os <i>container</i> (ação 2); No processo <i>Singulation</i>: Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 14); Colocação de borracha protetora nas superfícies mal protegidas (ação 16); No processo ICT: Redução do tamanho do pino (ação 18).	(-) 85%		-
D61		-	No processo MOL: Reconfiguração do sistema das bases (ação 8); No processo PCB <i>Cleaning</i>: Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 10) No processo de <i>Coating</i>: Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 13).	(-) 67%
D23	No processo <i>Singulation</i>: Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas (ação 14); No processo ICT: Sensibilização dos operadores para abrirem a tampa do equipamento corretamente (ação 19); Remoção da placa do rato (ação 20); No transporte: Sensibilização dos colaboradores para colocarem e retirarem os tabuleiros nas caixas realizando um movimento vertical (ação 22); Elaboração de uma instrução de trabalho para o manuseamento dos tabuleiros (ação 23);	(-) 52%	No processo MOL: Reconfiguração do sistema das bases (ação 8); No processo <i>Press-Fit</i>: Substituição do pino por um material mais adequado; No transporte: Sensibilização dos colaboradores para colocarem e retirarem os tabuleiros nas caixas realizando um movimento vertical (ação 22); Elaboração de uma instrução de trabalho para o manuseamento dos tabuleiros (ação 23);	(+) 11%
L28	Colocação de uma régua nas laterais dos <i>containers</i> (ação 25);	(-) 55%	Colocação de uma régua nas laterais dos <i>containers</i> (ação 25);	(-) 42%
L20		-	No processo ASCW: Alteração do mecanismo de <i>software</i> do leitor de verificação do conector; Implementação um mecanismo de <i>hardware</i> na base do equipamento	(-) 91%

Segundo a Tabela 6, constata-se que alguns componentes apresentaram um aumento de componentes danificados no período 2Q de 2021 comparativamente a 4Q de 2020. Assim, de seguida será apresentada com mais detalhe cada uma destas situações.

Relativamente aos componentes D901 rejeitados em FT, verificou-se um aumento de 31% dos PPMs, no que concerne às ocorrências de componentes danificados no período 2Q de 2021, comparativamente com 4Q de 2020. Com base na Figura 110 pode-se observar que o aparecimento de componentes danificados, em PPMs, tem vindo a diminuir ao longo dos últimos meses. É de notar que a alteração das laterais da gaveta do equipamento *Press-Fit* foi implementada no final do mês de junho e, por isso, ainda não foi possível tirar conclusões sobre esta ação. Todavia, a equipa acredita que a mesma irá reduzir ainda mais o aparecimento do componente D901 danificado.

Por outro lado, importa referir que a variação do aparecimento de componentes C324 danificados, em ICT, é negativa, o que significa que o valor de componentes danificados, em PPMs, no período 2Q de 2021 é superior ao obtido em 4Q de 2020. Não obstante, através da Figura 111, observa-se que a partir de fevereiro o número de componentes danificados tem vindo a reduzir significativamente fruto das respetivas ações de melhoria implementadas.

Quanto ao componente D23 verificou-se um aumento de 11% dos PPMs de componentes danificados no período 2Q de 2021 comparativamente a 4Q de 2020, em FT. Apesar de ter existido um pico de componentes D23 danificados, em abril, conseguiu-se controlar este incidente, na medida em que, nos últimos dois meses de controlo (maio e junho), o número de componentes danificados foi muito diminuto, dado que apenas foi detetado um componente D23 danificado em cada um destes meses. Foi possível alcançar estes últimos valores devido à constante sensibilização dos operadores para manusearem corretamente as placas, tal como mostra a Figura 113.

Apesar destes casos particulares, pode-se afirmar, com base na tabela e gráficos acima exibidos, que as melhorias adotadas nos processos e a sensibilização dos operadores para manusearem corretamente a placa permitiu a redução significativa de componentes danificados. Denota-se que estes resultados só foram possíveis de alcançar dado o acompanhamento e controlo diário, realizado pela equipa por meio de análises aos dados disponíveis e visitas aos processos.

No que se refere à sustentação dos ganhos ficou acordado dar continuidade à monitorização diária do FTQ e do valor de refugo nas reuniões realizadas nas áreas produtivas, realizar reuniões semanais entre a equipa *Kaizen* com o intuito de se identificar causas associadas ao aparecimento de componentes danificados e apresentarem propostas de melhorias aos processos. Para além disso, serão efetuadas

Layered process Audit numa base diária em cada estação, seguindo pontos específicos como *Standard work* e 5S, *Error Proofing* e ações corretivas e, ainda, a realização mensal de auditorias aos processos por parte da equipa *Kaizen*. Na Tabela 7 encontra-se o plano de ação para a sustentação dos ganhos.

Tabela 7 – Plano de ação para a sustentação dos ganhos.

What (Como)	Who (Quem)	When/Frequency (Frequência)
Divulgação do FTQ e do valor de refugo nas reuniões realizadas nas áreas produtivas	Engenheiro da produção	Diária
Realização de reuniões semanais	Equipa Kaizen	Semanal
Execução de <i>Layered process Audit</i> em cada estação	Chefe de linha	Diária
Realização mensal de auditorias aos processos	Equipa Kaizen	Mensal

4.6 Síntese do capítulo

O presente projeto Seis Sigma foi desenvolvido na empresa Aptiv, em dois complexos da empresa de Braga. A implementação deste projeto foi suportada pelo ciclo DMAIC, o que permitiu uma abordagem estruturada para a resolução da problemática em estudo.

Na fase Definir foi selecionado o projeto, analisou-se a situação atual do problema em questão e definiu-se os objetivos a serem atingidos no final deste projeto. Ainda nesta fase, foram utilizadas as ferramentas *Project Charter* e Fluxograma, que foram deveras importantes para a compreensão do projeto e do sistema produtivo dos dois produtos alvo de estudo.

Numa primeira instância, da fase Medir, aferiu-se que os *quality gates* são capazes de fornecer dados confiáveis e que os testes de inspeção detetam todos os componentes danificados, ao longo do processo produtivo. De seguida, procedeu-se a uma análise exaustiva dos dados com o propósito de evidenciar e compreender o estado atual da empresa relativamente ao número de componentes danificados. Por esta razão, analisou-se, individualmente, em que *quality gates* é que os principais componentes danificados foram rejeitados, identificou-se também a direção de embate e foi ainda elaborada uma análise aos processos de forma a restringir o problema. Deste modo, foram utilizadas ferramentas como o diagrama de concentração de defeitos, diagramas de Paretos, gráficos de barras e circulares.

Posteriormente, na fase Analisar, realizaram-se auditorias aos processos e visitas ao *gemba*, com a finalidade de determinar a causa raiz do problema. Todavia, como a equipa identificou diversas possíveis causas que contribuíam para o aparecimento de componentes danificados, foram feitas sessões de *brainstorming*, com vista a analisar e sistematizar logicamente as informações recolhidas. Neste sentido, recorreu-se a ferramentas de qualidade como o diagrama de Ishikawa, FTA e 5 *Why*. De seguida, foram sugeridas ações de melhoria, por parte da equipa deste projeto, uma vez que esta é constituída por profissionais que conhecem perfeitamente o processo de fabrico e são conhecedores dos seus problemas diários.

Na fase Melhorar, cada ação proposta foi avaliada segundo a matriz esforço vs impacto, com o intuito de priorizar as ações a implementar.

Já na fase de Controlo, foram medidos os indicadores selecionados para a monitorização do presente projeto, uma vez que é imperioso avaliar a eficiência das ações implementadas. No que diz respeito ao número de componentes danificados, em PPMs, estes foram reduzidos em cerca de 13% no período 2Q de 2021, quando comparado com o período 4Q de 2020 e, por isso, a equipa ficou distanciada do seu objetivo por 2%. Relativamente ao produto A, conseguiu-se atingir os 298 PPMs no período 2Q de 2021, o que traduz uma redução de 31% de componentes danificados, em termos de PPMs, quando comparado com 4Q de 2020. Desta forma, foi possível superar a meta inicial de reduzir 20% dos componentes danificados e ainda conseguiu-se diminuir 58% dos custos obtidos no período 4Q 2020. Quanto ao produto B, foi exequível atingir os 272 PPMs no período 2Q de 2021, o que significa que houve uma redução de 21% de componentes danificados, em termo de PPMs, quando comparado com 4Q de 2020. Portanto, o objetivo para o qual a equipa se tinha proposto, para este produto, também foi cumprido. No entanto, a empresa teve de suportar um prejuízo de 3.516,00€ (três mil quinhentos e dezasseis euros), o que corresponde a um aumento de 33% do valor obtido em 4Q de 2020, uma vez que a mesma ao longo do decorrer deste projeto criou um novo procedimento para as quedas de placas, onde ficou definido que qualquer placa que sofra uma queda tem de ser enviada para refugo. Este facto justifica o valor obtido em 2Q de 2021, porque o valor unitário de cada placa que vai para refugo é superior ao custo de retrabalho.

5 BANCADAS DE RETRABALHO DE SMT

Decorrente da clara percepção da necessidade de melhorar a área de retrabalho de SMT, o autor deste projeto foi desafiado a propor um novo *design* para as bancadas de SMT, uma vez que era premente tornar esta área mais funcional, melhorar a gestão visual e standardizar estas bancadas com as restantes pertencentes a CBA e Montagem Final. Além disso, neste local existe um elevado manuseamento das placas, portanto o risco de danificar os componentes é preocupante.

Como foi mencionado no subcapítulo 4.1., quando uma placa não cumpre com os requisitos exigidos, por exemplo, em situações em que possui componentes danificados, esta é encaminhada para esta zona de retrabalho, salvo exceção se a mesma for enviada para refugo.

De seguida, será apresentada uma análise crítica da situação atual da zona de retrabalho de SMT.

5.1 Descrição e análise da situação atual

Este local é constituído por 3 postos de trabalho, tendo cada um destes a sua própria bancada, como evidenciado na Figura 116. Importa realçar que os postos de trabalho 1 e 3 são dedicados a retrabalhos sem e com chumbo, respetivamente. Já a bancada central, ou seja, o posto de trabalho 2, serve para fazer retrabalhos.

Um fator bastante alarmante diz respeito ao distanciamento entre as bancadas dedicadas ao retrabalho sem chumbo (posto de trabalho 1) e com chumbo (posto de trabalho 3). De acordo com o manual *Soldering Rework/Repair* (2007), fornecido pela empresa, qualquer posto de trabalho sem chumbo deve estar separado de um posto de trabalho com chumbo, no mínimo, 10 metros. Destaca-se ainda que todas as ferramentas e materiais usados nas operações de retrabalho também devem cumprir com esta separação. Uma vez que as bancadas se encontram todas alinhadas este distanciamento não era seguido. Após a verificação deste facto, definiu-se que na zona em estudo apenas vai existir bancadas para retrabalhos sem chumbo, visto que o volume de retrabalhos com chumbo é muito reduzido.



Figura 116 – Situação atual das bancadas de retrabalho de SMT.

Por meio da observação direta às bancadas, conversas informais com o responsável desta zona e, especialmente, através do contributo de todos os técnicos de retrabalho envolvidos, foi possível identificar os principais pontos críticos desta área, tais como bancadas não standardizadas, material espalhado pelas bancadas, fios desorganizados, equipamentos não identificados, excesso de materiais nas bancadas, equipamentos desgastados, falta de equipamentos e condições ergonómicas não asseguradas (por exemplo, monitores, teclados e rato do computador).

5.2 Definição das propostas de melhoria

Após a análise da situação atual das bancadas da zona de SMT, considerou-se importante a utilização da técnica *benchmarking* para analisar as melhores práticas usadas a nível interno e externo à empresa.

Paralelamente, de forma a se estabelecer uma standardização entre as bancadas de SMT, CBA e Montagem final, os responsáveis por cada uma destas áreas definiram que o perfil das bancadas será o mesmo, apenas havendo diferenças se as necessidades específicas de cada zona assim o exigirem.

Posteriormente, realizou-se um *workshop* com o objetivo de promover a discussão sobre os detalhes de cada bancada e, ainda, identificar oportunidades de melhoria para que no final da sessão ficasse estabelecido o *design* final para as mesmas. Este *workshop* contou com a participação do autor da presente dissertação com a função de moderador, com o responsável pela melhoria contínua da empresa de Braga, *Gemba Quality Engineer* (GQE), *Operational Excellence* (OpEx) e técnicos de retrabalho. Inicialmente, fez-se uma breve contextualização da necessidade de alteração da zona de retrabalho de

SMT, onde foi apresentado o estado atual das bancadas. De seguida foi exposto aos participantes um esboço das novas bancadas, elaborado pelo autor, onde foram tidas em conta as necessidades recolhidas anteriormente a este *workshop*. Por último, deu-se a possibilidade de todos os participantes expressarem a sua opinião face à proposta apresentada para que, desta forma, chegassem a um consenso entre todos.

Posto isto, através da ferramenta *Sketchup*, o autor da dissertação fez o esboço final das novas bancadas exibido na Figura 117 (em detalhe Apêndice 9).

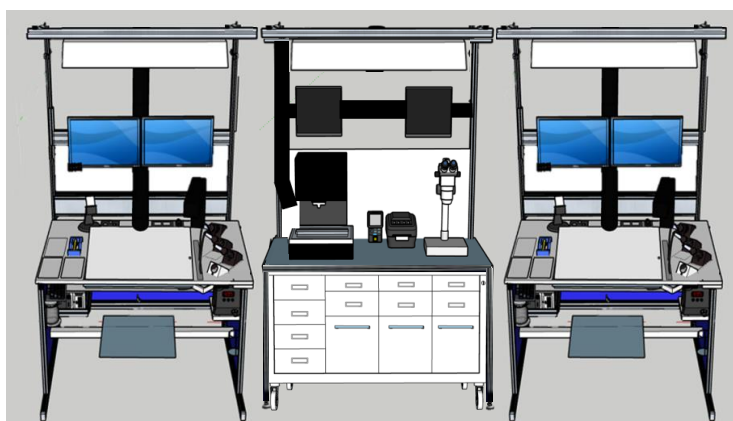


Figura 117 – Proposta final das bancadas de retrabalho de SMT.

Para além das bancadas, também se averiguou no mercado quais as melhores opções em termos de equipamentos que cumprem com as necessidades dos técnicos. No Apêndice 10 está representada uma tabela com os custos financeiros associado à alteração desta zona de trabalho.

5.3 Conclusão e resultados esperados

Para se atingir a excelência organizacional é necessário que os técnicos tenham condições adequadas e todos os equipamentos necessários para executar o seu trabalho. Sendo assim, perspetiva-se que a aquisição de novas bancadas e equipamentos modernos, alinhados à última tecnologia existente no mercado, irá contribuir para um local de trabalho mais funcional e organizado, o que torna o negócio mais competitivo, aliciente e garante a credibilidade com os *stakeholders*, entre os quais clientes e acionistas.

Além disso, com a melhoria da produtividade dos técnicos, aumento da sua motivação e comprometimento espera-se um aumento no retorno financeiro.

De forma a promover a melhoria contínua, os técnicos ficaram responsáveis por realizar auditorias 5S a esta área.

5.4 Síntese de capítulo

Neste capítulo, procedeu-se a uma descrição e análise crítica da situação atual da zona de retrabalho de SMT. De seguida, através da observação direta às bancadas e de conversas informais com os envolvidos, sobre as suas necessidades para esta área, elaborou-se uma nova proposta de *design* para as mesmas. Posteriormente, foi realizado um *workshop* com o objetivo de mostrar, aos participantes, o novo *design* das bancadas e ainda dar-lhes a possibilidade de identificarem oportunidades de melhoria. Por último, foram expostos alguns benefícios que se esperam obter após a implementação das novas bancadas de SMT.

6 CONCLUSÕES

Neste capítulo, encontra-se sintetizado todo o trabalho desenvolvido ao longo da presente dissertação. Numa primeira instância, foram descritos os resultados alcançados com o projeto e respondeu-se à questão de investigação proposta no primeiro capítulo. Por fim, destacam-se as limitações do estudo e recomendam-se algumas sugestões para trabalhos futuros.

6.1 Conclusões do projeto

O presente projeto foi desenvolvido na Aptiv, uma empresa de referência do ramo automóvel, com o intuito de definir e implementar um projeto de melhoria nesta sucursal.

Considera-se que, de uma forma geral, os objetivos propostos para o presente projeto foram atingidos com sucesso, na medida em que se conseguiu reduzir, em termos de PPMs, 13% dos componentes danificados da empresa. Quanto aos componentes danificados do produto A reduziu-se 31% dos PPMs e relativamente ao produto B houve uma redução de 21%. Assim, estes resultados comprovam a importância das ações adotadas, podendo-se concluir que a obtenção de processos mais robusto, com a prevalência da aplicação de sistemas à prova de erros consegue mitigar e, por vezes, erradicar o aparecimento de componentes danificados.

Naturalmente, a eficácia do desempenho produtivo também foi conseguida pela consciencialização e sensibilização dos operadores para a problemática em estudo, o que demonstra a importância da mudança de *mindset* dos mesmos, no que concerne à temática dos componentes danificados. Além disso, o sucesso deste projeto também foi atingido por meio de um compromisso forte e mútuo de todas as partes envolvidas, pois é a única forma de alcançar os objetivos estratégicos, cuja equipa se propôs a cumprir. Esta conclusão vem corroborar com o estudo desenvolvido por Singh & Singh (2020), onde se afirma que o principal fator de sucesso dos projetos Seis Sigma é a necessidade de existir liderança de gestão, envolvimento e compromisso.

A presente dissertação conseguiu dar resposta à seguinte questão de investigação “Poderá a implementação da abordagem estruturada pelo ciclo DMAIC, da metodologia Seis Sigma, proporcionar benefícios para o processo produtivo de uma empresa da indústria automóvel?”. Em síntese, realça-se que esta metodologia permitiu aumentar os níveis de qualidade da empresa através da redução dos defeitos, o melhoramento dos processos e do incentivo à melhoria contínua, reduzindo também os custos de não qualidade e melhorando a posição estratégica da empresa, quer a nível interno como externo. É

de notar que a indústria automóvel é um mercado bastante competitivo, onde os clientes exigem elevados padrões de qualidade e segurança dos produtos e, por isso, as empresas deste ramo que procuram continuamente atingir níveis de excelência devem adotar esta metodologia.

Paralelamente, conseguiu-se, ainda, dar resposta à seguinte questão: “Poderá o manuseamento, realizado por parte dos operadores, ser um dos principais potenciadores de defeitos no processo produtivo de PCBs?”. Embora haja uma grande preocupação em produzir zero defeitos, este pensamento ainda é utópico quando algumas atividades são realizadas manualmente. Como foi possível constatar ao longo de todo o projeto, o aparecimento de componentes danificados surge, essencialmente, devido a fatores humanos, sendo o incorreto manuseamento dos PCBs o que mais se destaca. No entanto, errar é inerente à condição humana e, por isso, a problemática do projeto acontece porque os processos existentes apresentam deficiências.

Neste sentido, as empresas devem progredir de forma a caminhar na perspetiva da indústria 5.0. Esta indústria vem complementar a indústria 4.0, onde a cooperação entre seres humanos e máquinas é vital para responder às necessidades do cliente. No que concerne à indústria 4.0, esta engloba a automação industrial e a integração de diferentes tecnologias, permitindo um impacto significativo na eficiência e produtividade dos processos, por meio da otimização das potencialidades das máquinas. Por outro lado, a indústria 5.0 valoriza o capital humano, o que significa que, para além dos sistemas serem planeados para realizarem trabalhos repetitivos e reduzirem atividades manuais, com o intuito de eliminar a ocorrência de erros provocados pelo Homem, o ser humano passará a desempenhar funções que exigem a sua capacidade analítica e cognitiva que, por sua vez, são insubstituíveis.

Depreende-se, ainda, que uma das lacunas reconhecidas, atualmente, na indústria é o não aproveitamento das capacidades analíticas humanas dado que os operadores somente se restringem a realizar o seu trabalho, frequentemente de forma mecanizada e robotizada, propiciando o 8º desperdício da filosofia *Lean*.

A partir dos resultados obtidos neste projeto, espera-se ajudar empresas da mesma área de negócio, tanto a nível externo como empresas do grupo, a conseguirem identificar a causa raiz dos componentes danificados. Assim, estas entidades podem adotar as etapas seguidas neste projeto, bem como as práticas implementadas.

Para finalizar, na perspetiva do autor, importa referir que o estágio curricular contribuiu com aquisição de novos conhecimentos relacionados com a temática em estudo e possibilitou a aplicação da metodologia Seis Sigma, bem como a utilização de diversas ferramentas da Qualidade. Paralelamente,

durante o estágio também foi possível participar em diferentes projetos com equipas multidisciplinares, dos quais se destaca a participação em *workshops*, formação referente à metodologia DRIVE (metodologia de resolução de problemas) e em auditorias internas aos processos produtivos e ao Departamento de *Customer Satisfaction*. Além disso, o autor integrou um projeto de monitorização e reporte de refugo.

6.2 Limitações do estudo

No decorrer deste projeto encontraram-se inúmeras adversidades, fruto do contexto real e complexo em que vivemos. Para além disso, destaca-se a necessidade de se ter analisado, exaustivamente, grandes quantidades de informações, pelo facto da família de produtos selecionada para o projeto apresentarem distintos processos, estando envolvidos dois edifícios. Por sua vez, esta situação dificultou a identificação da causa raiz de cada componente danificado.

Ademais, importa ainda referir que não foi possível executar todas as iniciativas propostas, uma vez que determinadas ações de melhoria requerem muito tempo para serem implementadas.

Embora os objetivos inicialmente propostos para o produto A e B terem sido cumpridos, o objetivo de reduzir, em termos de PPMs, 15% dos componentes danificados não foi atingido, ficando a uma distância de 2%. Isto ocorreu porque apesar de se ter conseguido reduzir os componentes danificados do produto A e B, alguns componentes danificados dos restantes produtos aumentaram visto que não foram o foco deste projeto.

Outra limitação do estudo relaciona-se com a situação pandémica excecional que vivemos. Deste modo e devido à Covid-19, as sucessivas paragens de produção levaram à transferência dos operadores entre as diferentes áreas produtivas. Neste sentido, como os operadores não estão habituados a trabalhar num posto de trabalho diferente ao que operam diariamente, em condições normais, acredita-se que este foi um fator que contribuiu, em larga medida, para o aumento de componentes danificados, pois estes não estão consciencializados dos riscos inerentes a cada posto de trabalho.

Por último, relativamente à alteração da área de retrabalho de SMT, enaltece-se a dificuldade em alinhar e integrar todas as necessidades e interesses das partes envolvidas.

6.3 Trabalho Futuro

De forma a promover a melhoria contínua espera-se que, no futuro, o trabalho desenvolvido seja continuado e adaptado à realidade da problemática em estudo. Neste sentido, recomenda-se a execução e o acompanhamento das ações, presentes no plano de ação, que ainda não foram implementadas.

Além disso, sugere-se que, na ferramenta PYMS, seja possível colocar um campo com a direção de embate de cada componente danificado, com o objetivo de identificar padrões de defeito.

Aquando da aprovação de um novo projeto (fase de *design*), é importante ter em consideração que os componentes devem ser colocados o mais afastado possível da zona periférica da placa, uma vez que, através do presente estudo, foi possível averiguar que a maior parte dos componentes danificados encontram-se nas zonas laterais das placas.

Recomenda-se ainda a realização de um estudo sobre “A influência das mudanças esporádicas dos operadores, entre as diferentes áreas produtivas, e o impacto que isso tem no número de componentes danificados”.

Outra ação futura a recomendar é a progressiva automatização dos processos com o propósito de os tornar mais robustos, eliminando o excessivo *handling* e, por conseguinte, reduzir o aparecimento de componentes danificados.

Propõe-se, ainda, continuar a incutir nos operadores a mentalidade de melhoria contínua. Neste sentido, sugere-se a realização de *workshops* de oportunidades de melhoria, bem como de *lessons learned*, visto que a empresa não deve negligenciar as ações aprendidas. Por um lado, estes *workshops* irão permitir aos operadores a oportunidade de contribuírem com a sua opinião para a problemática em questão e, por outro lado, são imprescindíveis para elucidar os novos operadores sobre as ações implementadas e consciencializá-los do porquê da necessidade das mesmas. Desta forma, para além de proporcionar uma comunicação transparente entre todas as partes envolvidas, possibilita assegurar os resultados pretendidos. Parafraseando Stephen Covey (2020), “*Without involvement, there is no commitment*”.

Futuramente, este estudo deve ser alargado aos restantes produtos com vista a reduzir o aparecimento de outros componentes danificados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboelmaged, M. (2010). Six Sigma quality: a structured review and implications for future research. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(3), 268–317. <https://doi.org/10.1108/02656711011023294>
- Ahmed, A., Page, J., & Olsen, J. (2020). Enhancing Six Sigma methodology using simulation techniques: Literature review and implications for future research. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(1), 211–232. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2018-0033>
- AIAG. (2010). *Measurement Systems Analysis - MSA* (4th ed.). Automotive Industry Action Group (AIAG).
- Allen, T. (2019). *Introduction to Engineering Statistics and Lean Six Sigma: Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems* (3rd ed.). Springer.
- Andersson, C., & Bellgran, M. (2015). On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity. *Journal of Manufacturing Systems*, 35, 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.12.003>
- Antony, J. (2006). Six sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, 12(2), 234–248. <https://doi.org/10.1108/14637150610657558>
- Bebeteidoh, O., & Takim, S. A. (2015). Manufacturing defects in the automobile industry, a case study of the remote causes and effects of Toyota's transmission malfunctions in cars Toyota's Slow Response to Manufacturing Defects Leading to Recalls, Result of Poor Communication Strategy View pr. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 2(8), 2394–3661. <https://www.researchgate.net/publication/281641788>
- Best, M., & Neuhauser, D. (2006). Joseph Juran: Overcoming resistance to organisational change. *Quality and Safety in Health Care*, 15(5), 380–382. <https://doi.org/10.1136/qshc.2006.020016>
- Brue, G. (2006). *Six Sigma for small business*. CWL Publishing Enterprises.
- Coghlan, D. (2011). Action research: Exploring perspectives on a philosophy of practical knowing. *Academy of Management Annals*, 5(1), 53–87. <https://doi.org/10.1080/19416520.2011.571520>
- Covey, S. (2020). *Os 7 Hábitos das Pessoas Altamente Eficazes: Lições poderosas para a transformação pessoal* (21st ed.). Gradiva.

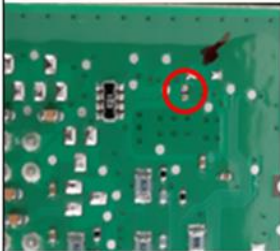
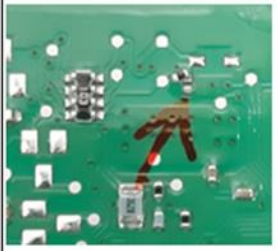
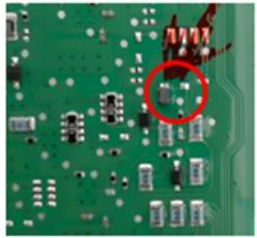
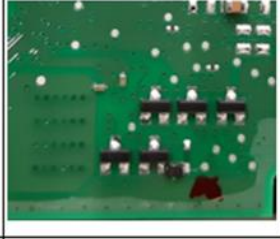
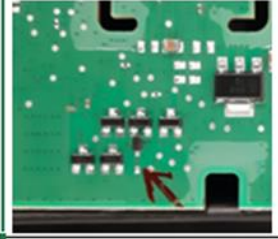
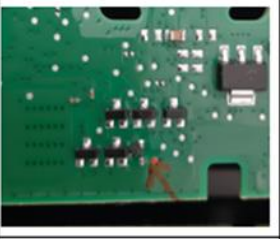
- Dhiraj, K., & Deepak, K. (2014). A REVIEW OF SIX SIGMA APPROACH: METHODOLOGY, OBSTACLES AND BENEFITS. *Global Journal of Engineering, Design & Technology*, 3(4), 1–5.
- Duffy, G. (2013). *The ASQ Quality Improvement Pocket Guide: Basic History, Concepts, Tools, and Relationships*. Quality Press.
- Dutt, D., Natarajan, V., Wilson, A., & Robinson, R. (2020). Industry 4.0 in automotive Digitizing the end-to-end automotive value chain. *Deloitte*, 1–25.
- Flasche, L. (2007). *Manual Soldering Rework/Repair*. DELPHI ELECTRONICS GROUP.
- Geffen, C. A., & Rothenberg, S. (2000). Suppliers and environmental innovation the automotive paint process. *International Journal of Operations and Production Management*, 20(2), 166–186. <https://doi.org/10.1108/01443570010304242>
- George, M., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook*. McGraw-Hill.
- Ifrim, A., Bițan, G., Maier, D., & Fogoroș, T. (2020). Improving the performance of organizational innovation processes by applying the Six Sigma methodology. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 14(1), 1098–1108. <https://doi.org/10.2478/picbe-2020-0103>
- International Organization for Standardization. (2011). *Quantitative methods in process improvement. Six Sigma Part 1: DMAIC methodology*. ISO.
- Ishikawa, K. (1976). *Guide to Quality Control*. Asian Productivity Organization.
- Ishikawa, K. (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. Prentice-Hall.
- Jirasukprasert, P., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., & Lim, M. K. (2015). A six sigma and dmaic application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(1), 2–22. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2013-0020>
- Juran, J., & Godfrey, A. (1998). *Juran's Quality Handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Koch, P. N., Yang, R. J., & Gu, L. (2004). Design for six sigma through robust optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26(3), 235–248. <https://doi.org/10.1007/S00158-003-0337-0>
- Kubiak, T. M. (2012). *The certified six sigma master black belt handbook*. Quality Press.

- Kumar, M., Antony, J., Antony, F. J., & Madu, C. N. (2007). Winning customer loyalty in an automotive company through Six Sigma: a case study. *Quality and Reliability Engineering International*, 23(7), 849–866. <https://doi.org/10.1002/qre.840>
- Kumar, S., Satsangi, P. S., & Prajapati, D. R. (2011). Six Sigma an Excellent Tool for Process Improvement – A Case Study. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2(9), 1–10.
- Kureková, E. (2001). Measurement Process Capability – Trends and Approaches. *MEASUREMENT SCIENCE REVIEW*, 1(1), 43–46.
- Kwak, Y. H., & Anbari, F. T. (2006). Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. *Technovation*, 26(5–6), 708–715. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.10.003>
- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. S. (2003). Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, 21(2), 193–203. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00087-6](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00087-6)
- Ma, Y., Chen, G., Lv, M., Yi, W., Liu, X., Chen, H., & Zhu, B. (2021). Efficient and Effective Dimension Control in Automotive Applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(3), 1583–1591. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.2990168>
- Mast, J. (2006). Six Sigma and competitive advantage. *Total Quality Management and Business Excellence*, 17(4), 455–464. <https://doi.org/10.1080/14783360500528221>
- Mehrjerdi, Y. Z. (2011). Six-Sigma: methodology, tools and its future. *Assembly Automation*, 31(1), 79–88. <https://doi.org/10.1108/01445151111104209>
- Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An Overview of Six Sigma. *International Statistical Review*, 76(3), 329–346. <https://doi.org/10.1111/J.1751-5823.2008.00061.X>
- Mzougui, I., & Elfelsoufi, Z. (2019). Improvement of Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis by Using Fault Tree Analysis and Analytical Hierarchy Process. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 19(4), 942–949. <https://doi.org/10.1007/s11668-019-00681-3>
- Pinto, P., & Ribeiro, S. (2006). *Qualidade – Manual Técnico do Formador*. Nufec – Núcleo de Formação, Estudos e Consultoria.
- Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook, Revised and Expanded: The Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers At All Levels*. McGraw-Hill.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2014). *The Six Sigma Handbook* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2016). *Research Methods for Business Student* (7th ed.). Pearson education.
- Senvar, O., & Toz, H. (2010). *Process Capability and Six Sigma Methodology Including Fuzzy and Lean Approaches*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/10389>
- Setter, C. (2018). *Six Sigma: A Complete Step-by-Step Guide: A Complete Training & Reference Guide for White Belts, Yellow Belts, Green Belts, and Black Belts*. The Council for Six Sigma Certification.
- Simanová, L., & Gejdoš, P. (2015). The Use of Statistical Quality Control Tools to Quality Improving in the Furniture Business. *Procedia Economics and Finance*, 34, 276–283. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01630-5](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01630-5)
- Singh, G., & Singh, D. (2020). CSFs for Six Sigma implementation: a systematic literature review. *Journal of Asia Business Studies*, 14(5), 795–818. <https://doi.org/10.1108/JABS-03-2020-0119>
- Soković, M., Jovanović, J., Krivokapić, -Zdravko, & Vujović, -Aleksandar. (2009). Basic Quality Tools in Continuous Improvement Process. *Strojniški Vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 55(5), 1–9.
- Stanivuk, T., Gvozdrenović, T., Mikuličić, J. Ž., & Lukovac, V. (2020). Application of Six Sigma model on efficient use of vehicle fleet. *Symmetry*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/SYM12050857>
- Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. *Administrative Science Quarterly*, 23(4), 582–603. <https://doi.org/10.2307/2392581>
- Sutrisno, W., Fathiah, U., & Sulistio, J. (2019). Six Sigma Application on Cement Packing Quality Control and Analysis to Reduce Defect. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505(1), 1–5. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012064>
- Tjahjono, B., Ball, P., Vitanov, V. I., Scorzafave, C., Nogueira, J., Calleja, J., Minguet, M., Narasimha, L., Rivas, A., Srivastava, A., Srivastava, S., & Yadav, A. (2010). Six Sigma: a literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(3), 216–233. <https://doi.org/10.1108/20401461011075017>
- Trovao, J. P. (2020). Automotive Electronics under the COVID-19 Shadow [Automotive Electronics]. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 15(3), 101–108. <https://doi.org/10.1109/MVT.2020.2998710>
- Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., & Haasl, D. F. (1981). *Fault tree handbook*. Nuclear Regulatory Commission Washington DC.

APÊNDICE 1 – ANÁLISE ÀS PLACAS DANIFICADAS

Tabela 8: Exemplo da análise às placas danificadas.

Componente	Fotografia	Coating	Direção	Fotografia	Coating	Direção	Fotografia	Coating	Direção	Fotografia	Coating	Direção
R4510		Antes			Antes			Antes			Antes	
D901		Antes			Depois			Antes			Antes	
D61		Antes			Antes			Antes			Antes	

As células a cinzento representam as situações em que os componentes foram arrancados e, por isso, não se consegue identificar a direção de embate.

APÊNDICE 2 – ANÁLISE DE COMPONENTES DANIFICADOS POR PROCESSO

Depois de se selecionar, para cada componente, os possíveis processos que possam estar a danificar os componentes, realizou-se uma análise mais detalhada a cada posto de trabalho com o objetivo de se encontrar um posto específico que esteja a causar danos nos componentes. É de salientar que esta análise só é realizada aos processos que têm mais do que um posto de trabalho.

Componente R4510

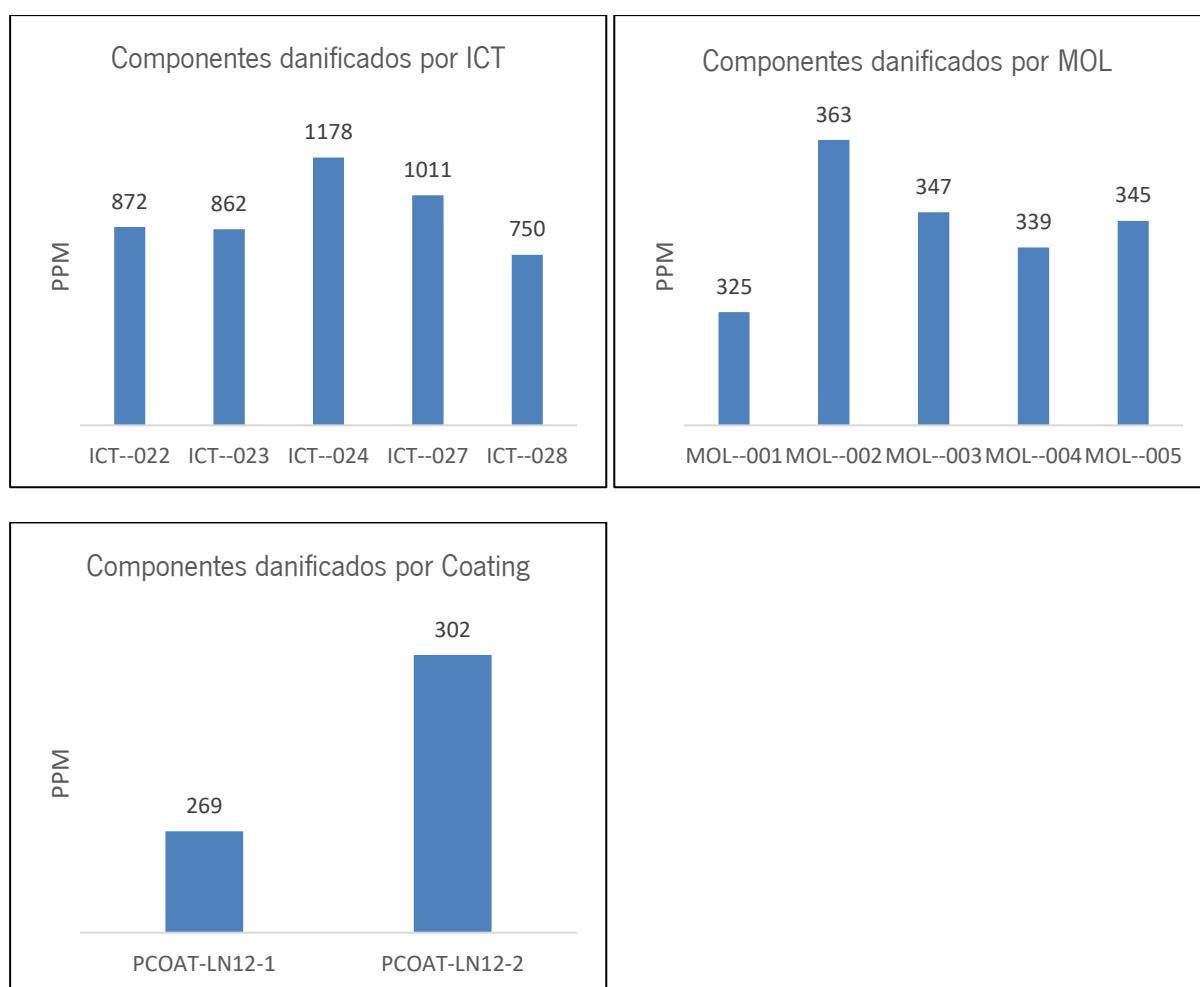


Figura 118 – R4510: Componentes danificados, em PPM, para cada posto de trabalho de ICT, MOL e *Coating*.

Componente D901

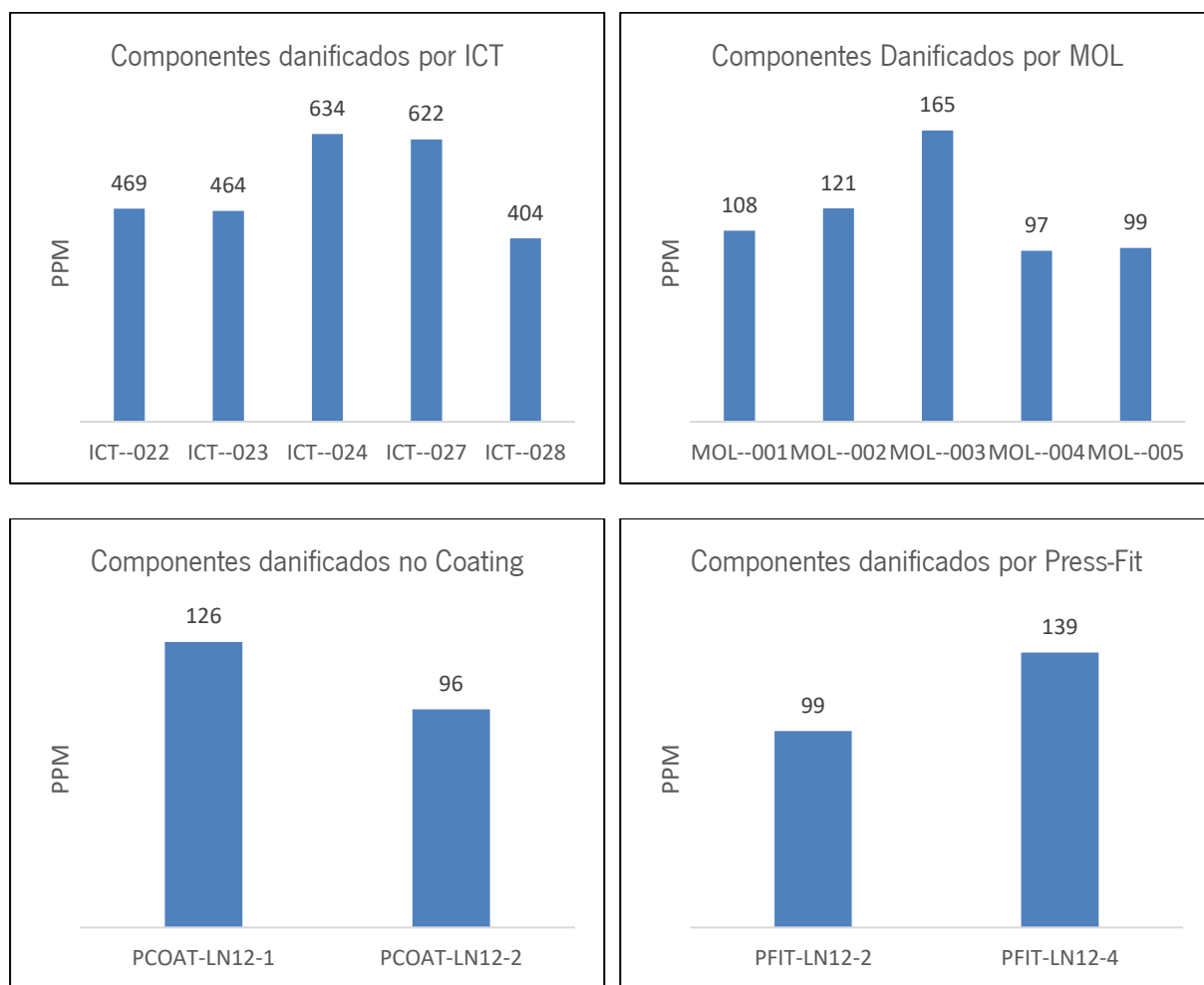


Figura 119 – D901: Componentes danificados, em PPM, para cada posto de trabalho de ICT, MOL, *Coating* e *Press-Fit*.

Componente C324

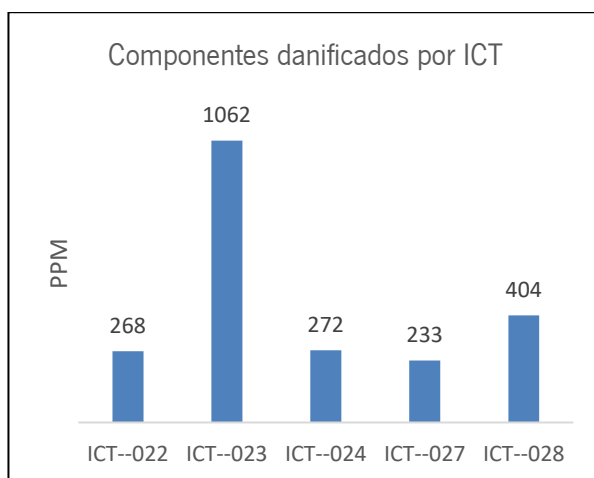


Figura 120 – C324: Componentes danificados, em PPM, para cada posto de trabalho de ICT.

Componente C325

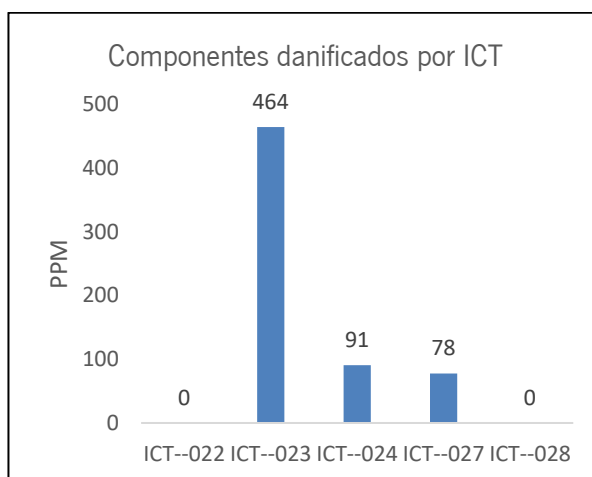


Figura 121 – C325: Componentes danificados, em PPM, para cada posto de trabalho de ICT.

Componente D61

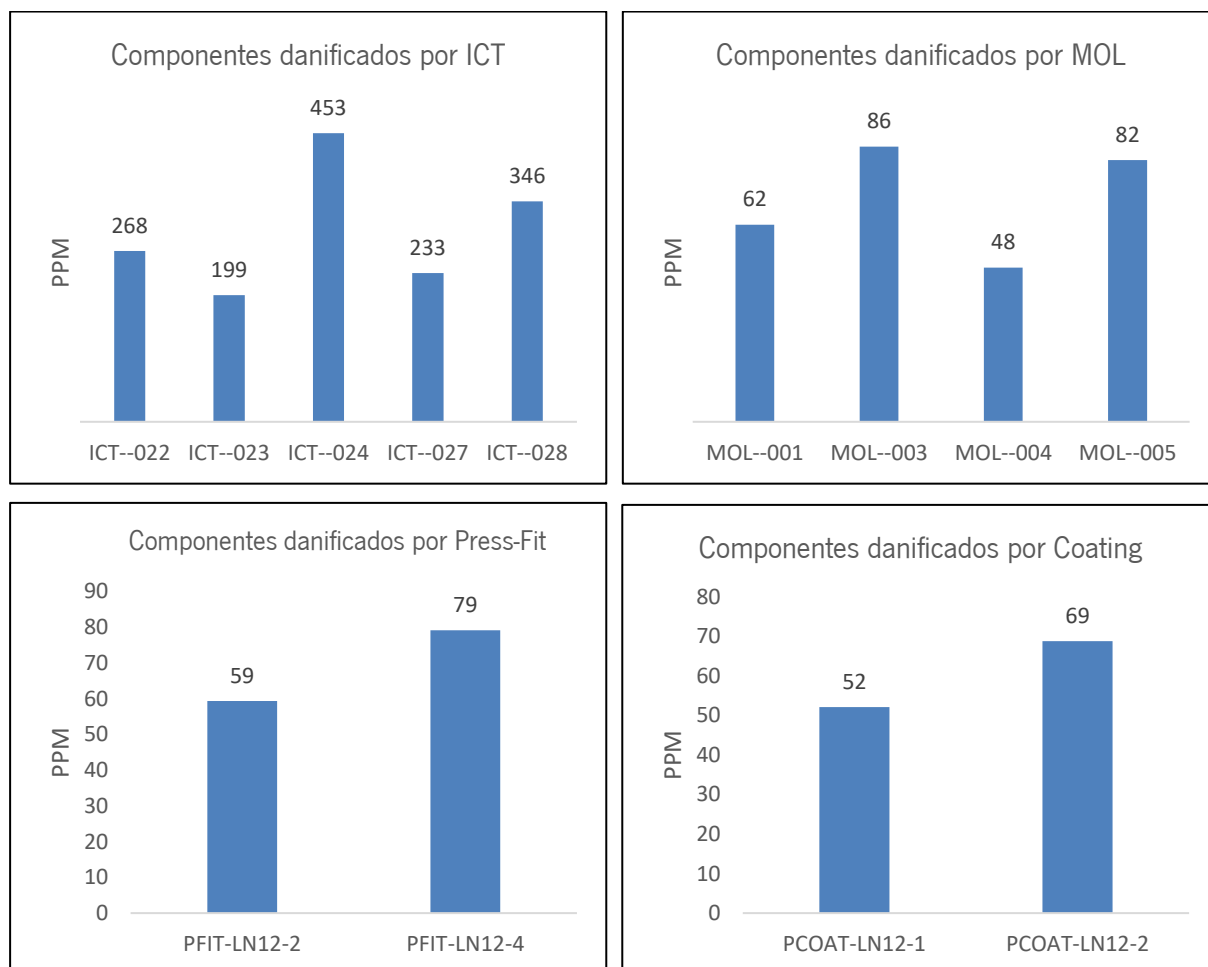


Figura 122 – D61: Componentes danificados, em PPM, para cada posto de trabalho de ICT, MOL, Coating.e Press-Fit.

Componente D23

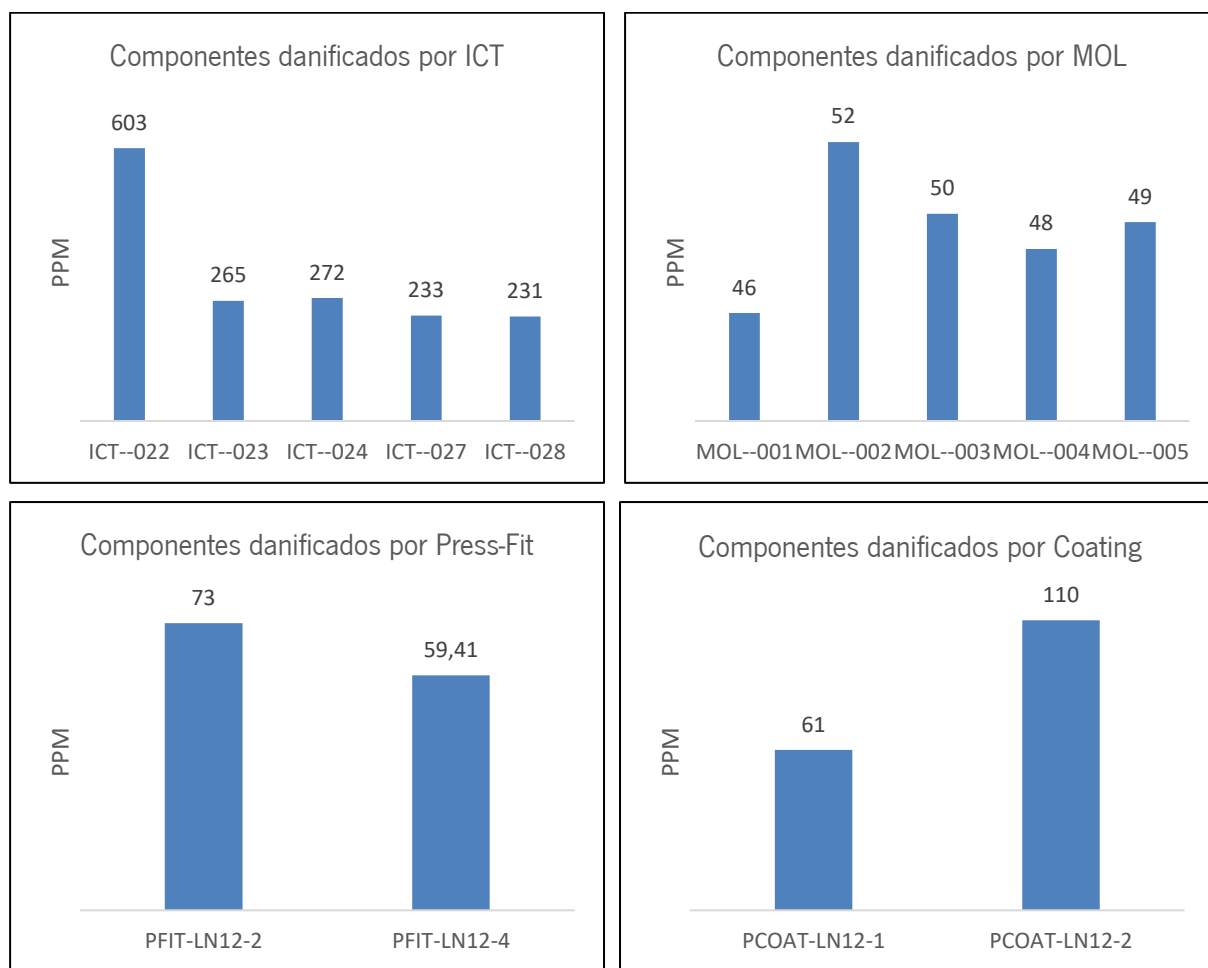


Figura 123 – D23: Componentes danificados, em PPM, para cada posto de trabalho de ICT, MOL, *Press-Fit* e *Coating*.

Componente L28

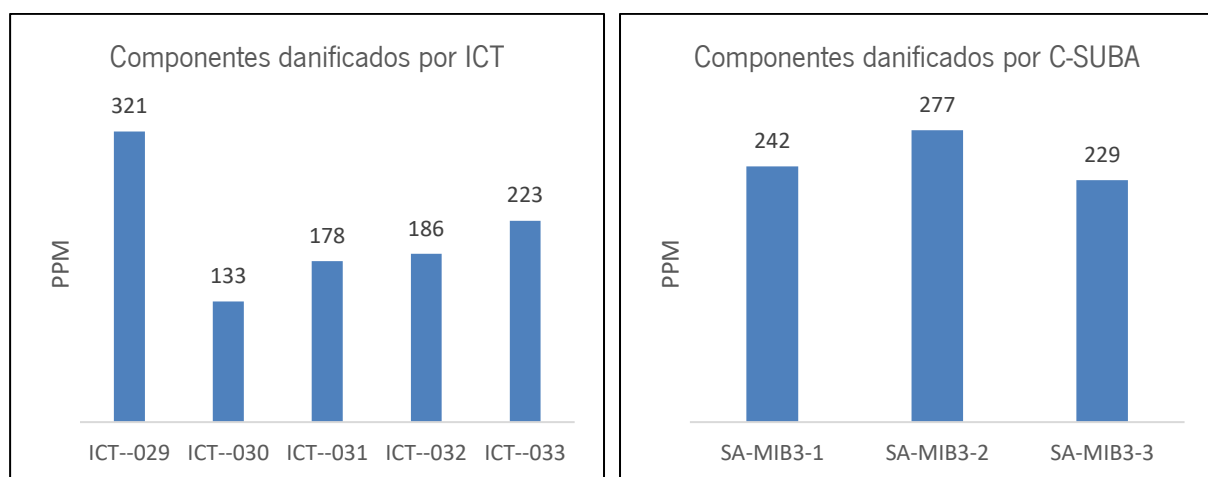


Figura 124 – L28: Componentes danificados, em PPM, para cada posto de trabalho de ICT, C-SUBA. e MILL.

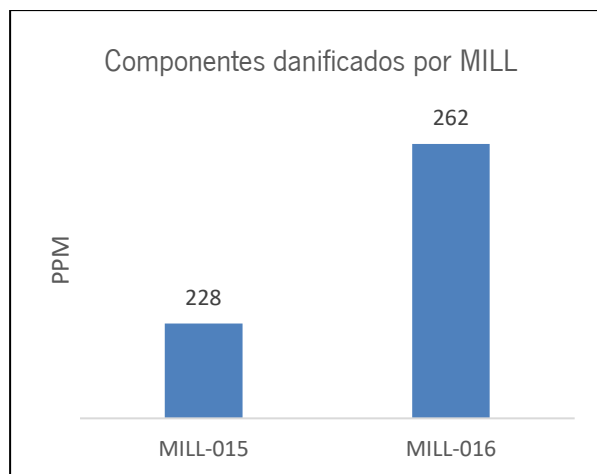


Figura 124 – Continuação.

Componente L20

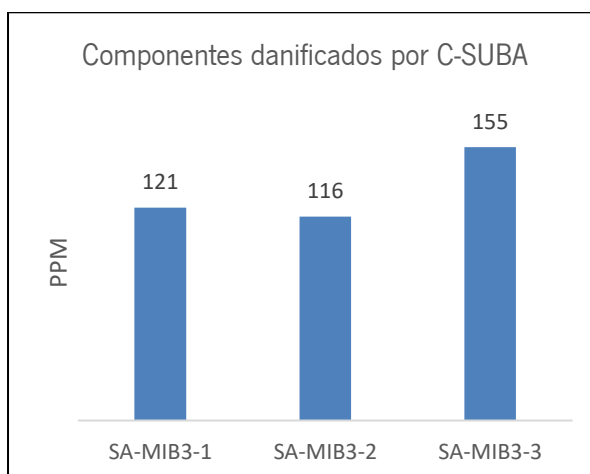
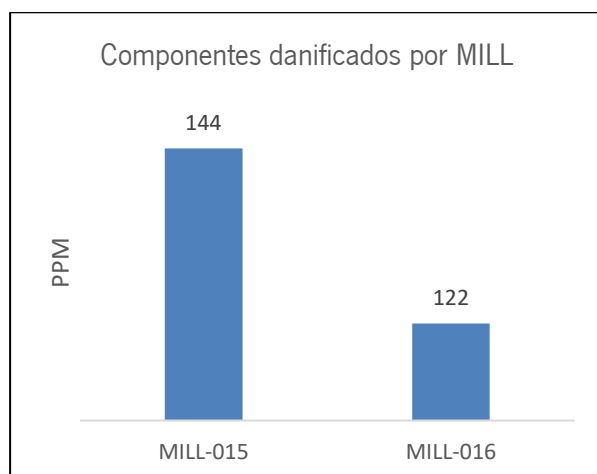


Figura 125 – L20: Componentes danificados, em PPM, para cada posto de trabalho de MILL e C-SUBA.

APÊNDICE 3 – PLANO DE AÇÃO

Tabela 9 – Plano de ação

Componente Danificado	Causa Raiz	Item	Ação Corretiva	Processo	Responsável (Quem?)	Data (Quando?)	Estado
R4510, D901, C324, C325	Incorreto posicionamento do sensor	1	Alteração do sensor do <i>unloader</i>	SMT	xxx	CW20.21	●
		2	Implementação de um suporte para fixar os <i>containers</i>	SMT	xxx	CW10.21	●
R4510, D901, C324, C325	Pegas e amortecedores no alcance do movimento	3	Alteração do formato das pegas	ICT	xxx	CW20.21	●
R4510, D901	Pinos pré-posicionadores com arestas perigosas	5	Substituição dos pinos por um material mais apropriado	MOL	xxx	CW03.21	●
		6	Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas	MOL	xxx	CW11.21	●
R4510, D901	Divisória central do equipamento	7	Corte parcial da divisória central	MOL	xxx	CW10.21	●
R4510, D901, D61, D23	Falta de otimização dos recursos	8	Reconfiguração do sistema das bases de MOL	MOL	xxx	CW09.21	●
R4510, D901	Laterais do equipamento no alcance do movimento	9	Alteração da paleta de 6 para 4 cavidades	PCB <i>Cleaning</i>	xxx	CW01.21	●
R4510, D901, D61	Paleta com arestas perigosas	10	Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas	PCB <i>Cleaning</i>	xxx	CW11.21	●
		11	Retrabalhar as bordas da paleta	PCB <i>Cleaning</i>	xxx	CW35.21	◐
R4510, D901, D61	Pino central da paleta no alcance do movimento	13	Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas	<i>Coating</i>	xxx	CW11.21	●
R4510, D901, C324, C325, D23	Incorreto posicionamento das caixas e tabuleiros	14	Implementação de um <i>quality alert</i> para manuseamento das placas	<i>Singulation</i>	xxx	CW11.21	●
R4510, D901, C324, C325	Chapa metálica da rampa no alcance do movimento	15	Remoção parcial da chapa da rampa	<i>Singulation</i>	xxx	CW34.21	◐
R4510, D901, C324, C325	Superfícies do equipamento mal protegidas	16	Colocação de borracha protetora nas superfícies mal protegida	<i>Singulation</i>	xxx	CW11.21	●
D901	Lateral da gaveta do equipamento mal protegida	17	Alteração das laterais da gaveta do equipamento	<i>Press-Fit</i>	xxx	CW26.21	●
C324 e C325	Pino lateral no alcance do movimento	18	Redução do tamanho do pino	ICT	xxx	CW18.21	●
D23	Embate nos pinos superiores do equipamento	19	Sensibilização dos operadores para esta problemática	ICT	xxx	CW19.21	●
D23	Placa do rato no alcance do movimento	20	Remoção da placa do rato	ICT	xxx	CW18.21	●
D23	Pino de pré-posicionamento do equipamento inadequado	21	Substituição do pino por um material mais adequado	<i>Press-Fit</i>	xxx	CW25.21	●

Tabela 9– Continuação

Componente Danificado	Causa Raiz	Item	Ação Corretiva	Processo	Responsável (Quem?)	Data (Quando?)	Estado
D23	Standard Work não está definido	22	Sensibilização dos colaboradores para colocarem e retirarem os tabuleiros nas caixas realizando um movimento vertical	Transporte	xxx	CW10.21	
		23	Elaboração de uma instrução de trabalho para o manuseamento dos tabuleiros	Transporte	xxx	CW19.21	
L28	Colocação do PCB no <i>pitch</i> errado	24	Implementação de máscaras nas rampas de ICT	ICT	xxx	CW36.21	
		25	Colocação de uma régua nas laterais dos <i>containers</i>	-	xxx	CW47.20	
L28	Incorreto posicionamento dos PCBs nos tabuleiros à saída da máquina	26	Criação de um sistema de “régua”	<i>Milling</i>	xxx	CW32.21	
L20	Remoção do caixilho	27	Alteração do mecanismo de <i>software</i> do leitor de verificação do conetor	ASCW	xxx	CW12.21	
		28	Implementação um mecanismo de <i>hardware</i> na base do equipamento	ASCW	xxx	CW08.21	

APÊNDICE 4 – *QUALITY ALERT* SISTEMA DE LIMPEZA

APTIV ADVANCED SAFETY & USER EXPERIENCE

Chamada de Atenção (Quality Alert)

Data de entrada: 10/03/2021

Data de saída: 10/04/2021

Página 1 of 3

Nº 136

Problema

Aparecimento de componentes danificados

(Seleccionar origem da Chamada de Atenção)

☐ Reclamação do Cliente

☐ Red Alert

☐ Yellow Alert

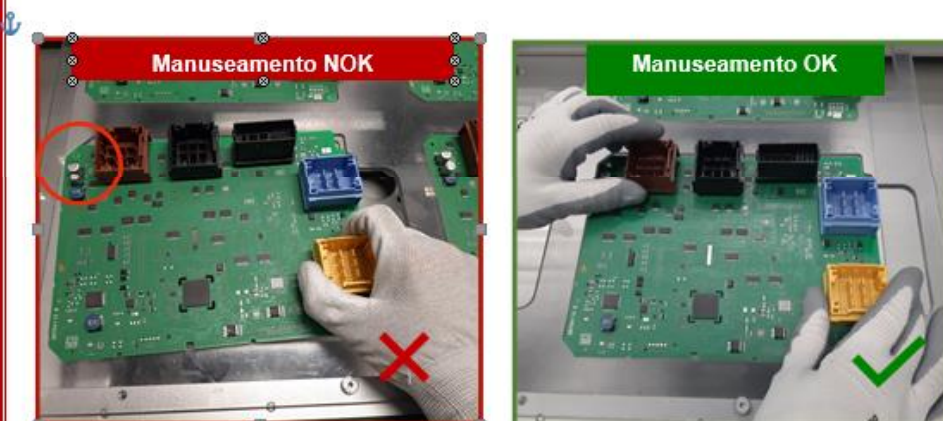
☒ FTQ

Causa

Manuseamento da placa, apenas com uma mão, no processo Sistema de Limpeza.

ATENÇÃO

Deve manusear a placa com as duas mãos



Mecanismo de falha: Ao manusear o PCB, apenas com uma mão, perde o controlo da placa e pode bater na superfície envolvente, acabando por danificar os componentes eletrónicos que se encontram na parte inferior da mesma.

O que fazer para minimizar a falha? Pegar no PCB como está ilustrado na imagem "Manuseamento OK". Deve pegar com uma mão no conector castanho e com a outra no conector amarelo.

Elaborado por: Raquel Chaves

Página 1

Data: 10/03/2021

APÊNDICE 5 – QUALITY ALERT SINGULAÇÃO

APTIV ADVANCED SAFETY & USER EXPERIENCE

Chamada de Atenção (Quality Alert)

Data de entrada: 17/03/2021

Data de saída: 31/03/2021

Página 1 of 3

Nº 134

Problema	
Componentes danificados	(Selecionar origem da Chamada de Atenção) ☐ Reclamação do Cliente ☐ Red Alert ☐ Yellow Alert ☒ FTQ
Causa	
Incorreto posicionamento das caixas e tabuleiros no processo Singulação	

ATENÇÃO

Deve colocar o tabuleiro por cima da caixa como está ilustrado na imagem “Manuseamento OK”. Ter em atenção que a posição da caixa e do tabuleiro deve estar de acordo com esta figura. Deve também introduzir as placas no tabuleiro segundo a ordem indicada na figura (do número 1 para o número 4).



Figura 1: A posição da caixa e do tabuleiro deve estar de acordo com a figura acima “Manuseamento OK”, caso contrário o tabuleiro pode cair, danificando assim as placas.

Figura 2: A ausência do tabuleiro (por cima da caixa), obriga que a placa seja colocada diretamente na caixa, facilitando assim o embate desta com as superfícies envolventes, o que poderá danificar os componentes.

APÊNDICE 6 – *QUALITY ALERT* MOL

APTIV ADVANCED SAFETY & USER EXPERIENCE

Chamada de Atenção (Quality Alert)

Data de entrada: 10/03/2021

Data de saída: 10/04/2021

Página 1 of 3

Nº 137

Problema	
Aparecimento de componentes danificados	(Seleccionar origem da Chamada de Atenção) ☐ Reclamação do Cliente ☐ Red Alert ☐ Yellow Alert ☒ FTQ
Causa	
Manuseamento da placa, apenas com uma mão, no processo MOL.	

ATENÇÃO

Deve manusear a placa com as duas mãos



Mecanismo de falha: Ao manusear o PCB, apenas com uma mão, perde o controlo da placa e acaba por danificar os componentes eletrónicos que se encontram na parte inferior da mesma.

O que fazer para minimizar a falha? Manusear o PCB com as duas mãos.

APÊNDICE 7 – QUALITY ALERT COATING

APTIV ADVANCED SAFETY & USER EXPERIENCE

Chamada de Atenção (Quality Alert)

Data de entrada: 10/03/2021

Data de saída: 10/04/2021

Página 1 of 3

Nº 135

Problema	
Aparecimento de componentes danificados	(Selecionar origem da Chamada de Atenção) ☐ Reclamação do Cliente ☐ Red Alert ☐ Yellow Alert ☒ FTQ
Causa	
Manuseamento da placa, apenas com uma mão, no Processo Coating.	

ATENÇÃO

Deve manusear a placa com as duas mãos



Mecanismo de falha: Ao colocar o PCB na paleta, apenas com uma mão, perde o controlo da placa e esta pode cair e danificar os componentes eletrónicos que se encontram na parte inferior da mesma.

O que fazer para minimizar a falha? Pegar no PCB como está ilustrado na imagem "Manuseamento OK". Deve pegar com uma mão no conector castanho e com a outra no conector amarelo.

APÊNDICE 8 – INSTRUÇÃO DE TRABALHO PARA O MANUSEAMENTO DE TABULEIROS

APTIV ADVANCED SAFETY & USER EXPERIENCE

Manuseamento de tabuleiros de placas

Data de revisão: 13-05-2021

Página 1 de 4

1.0 OBJETIVO

O objetivo desta instrução de trabalho é explicar o correcto manuseamento dos tabuleiros usados no projeto

2.0 ÂMBITO

Esta instrução aplica-se à Aptiv, em Braga.

3.0 APROVAÇÃO

Esta instrução foi aprovado pelo *Material Flow Receiving / Shipping Group Leader* da Aptiv em Braga e encontra-se publicado no módulo DCC do FIS.

4.0 PROCEDIMENTO

4.1 Colocar tabuleiros com material no interior da caixa

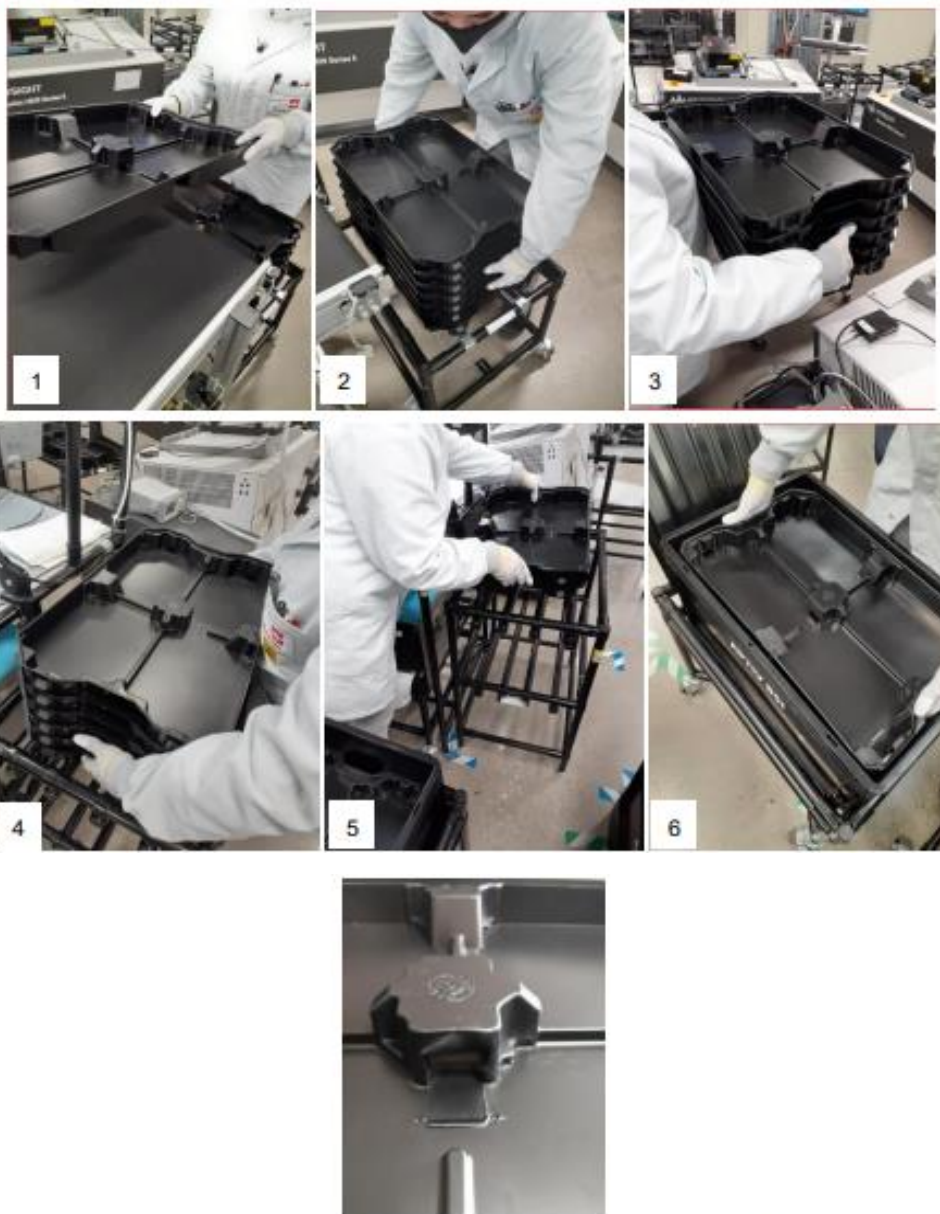
- a. O colaborador deve manusear os tabuleiros sempre pelas abas laterais do lado mais curto do tabuleiro. O tabuleiro deve ser colocado no interior da caixa na posição horizontal e nunca na diagonal, como exemplificado na imagem abaixo.



When printed, this document is uncontrolled unless identified as controlled by a Document Control Center.

4.2 Colocar tabuleiros vazios no interior da caixa

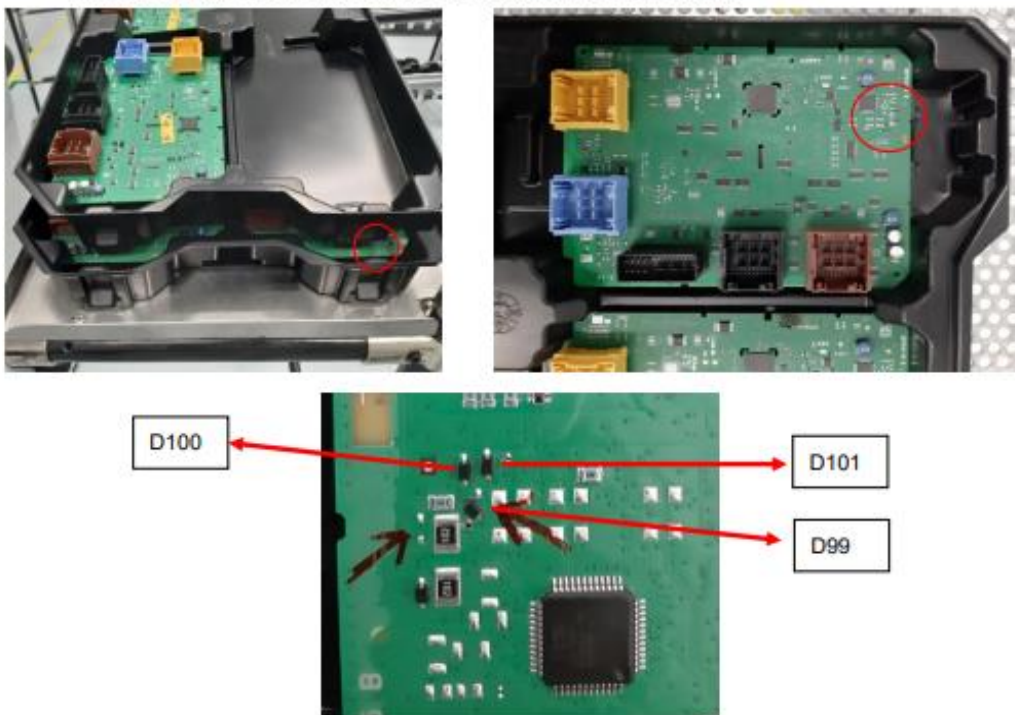
- a. O colaborador deve manusear os tabuleiros sempre pelas abas laterais do lado mais curto do tabuleiro e seguir a sequência de 1 a 6 como apresentado nas imagens abaixo. Não é permitido pegar nos tabuleiros pelo centro do mesmo porque origina danos. Exemplo de tabuleiro danificado em baixo.



When printed, this document is uncontrolled unless identified as controlled by a Document Control Center.

4.3 Consequências da incorrecta colocação dos tabuleiros.

- a. Quando os tabuleiros são introduzidos de forma errada nas caixas pode ocorrer a danificação de placas e componentes, como nos exemplos abaixo. Portanto deve-se pegar nos tabuleiros da placa electrónica recorrendo sempre às abas laterais dos tabuleiros.



5.0 INFORMAÇÃO ADICIONAL

6.0 REGISTO DE REVISÕES

Razão para Revisão	Data de Revisão	Autor(es)
Edição inicial	13 Maio 2021	

When printed, this document is uncontrolled unless identified as controlled by a Document Control Center.

APÊNDICE 9 – APRESENTAÇÃO *REWORK STATION LAYOUT*

July, 2021

Raquel Chaves

REWORK STATION LAYOUT

• APTIV •

Current Situation



- Non-standard benches
- Excess materials on the benches
- Disorganized strands
- Lack of identification of equipment
- Worn out equipment
- Lack of equipment



• APTIV •

Current Situation



Subtitle

1. Computer Monitor
2. Camare Monitor
3. Hot Air Pencil
4. Scanner
5. Camare
6. Soldering Station
7. keyboard
8. Semi-Auto Glue Dispenser
9. Smoke Extractor

• APTIV •

SMT Bench Layout

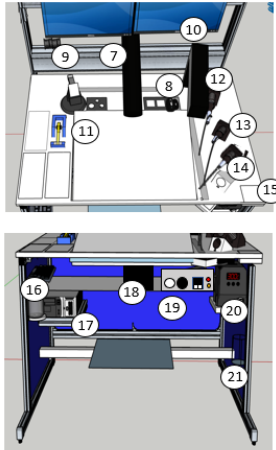
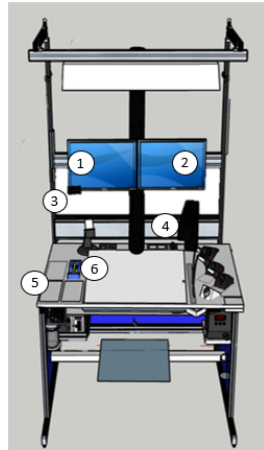


2

• APTIV •

SMT: Bench 1 and 3 layout

Subtitle

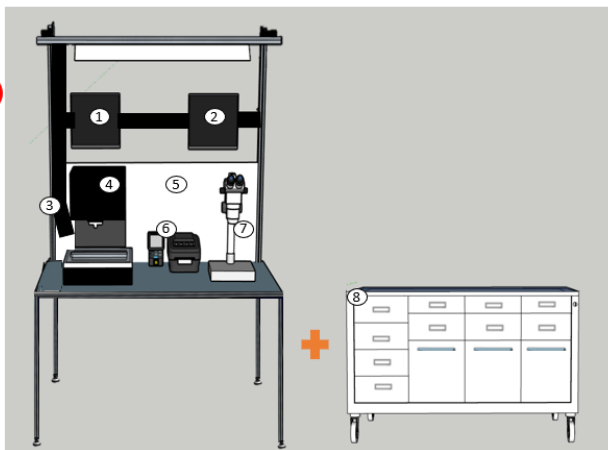


1. Computer monitor
2. Magnifying glass monitor
3. Magnetic board
4. Material support (tweezers, welding wire,...)
5. Defect validation keyboard
6. Adhesive tape
7. Smoke extractor
8. Computer mouse
9. Scanner
10. Magnifying glass
11. Support
12. Hot air heat gun
13. Soldering tip iron
14. Soldering tip iron cleaner
15. Hot material placement
16. Keyboard
17. Computer
18. Soldering station towers
19. Semi-auto glue dispenser
20. Soldering rework station with hot air heat gun
21. Bottle support

3

• APTIV •

SMT: Bench 2 layout



Subtitle

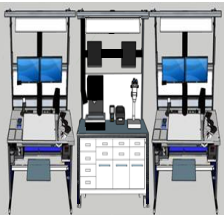
1. Scorpion monitor
2. Microscope monitor
3. Smoke extractor
4. Scorpion
5. Magnetic board
6. Terminal and printer
7. Microscope
8. Material storage drawers

4

• APTIV •

APÊNDICE 10 – CUSTOS INERENTES À ALTERAÇÃO DAS BANCADAS

Tabela 10: Custos inerente à alteração das bancadas.

Description	Quant.	Unid.	€/Unid	Total Price (without VAT)	Photo
SMT: Side benches	2	UN	-	-	
Profile/Squares/Feet/Screws	2	UN	380,00 €	760,00 €	
Cover with manual tilt adjustment	2	UN	435,00 €	870,00 €	
Aluminium gutter / ESD	2	UN	360,00 €	720,00 €	
Supports	2	UN	98,00 €	196,00 €	
Waldmann luminaire - 95cm	2	UN	560,00 €	1 120,00 €	
Assembly	2	UN	320,00 €	640,00 €	
Total				4 306,00 €	
SMT: Central bench	1	UN	-	-	
Profile/Squares/Feet/Screws	1	UN	380,00 €	380,00 €	
Cover	1	UN	320,00 €	320,00 €	
Aluminium gutter/ESD	1	UN	360,00 €	360,00 €	
Block of drawers/Car	1	UN	935,00 €	935,00 €	
Waldmann luminaire - 95cm	1	UN	560,00 €	560,00 €	
Assembly	1	UN	320,00 €	320,00 €	
Total				2 875,00 €	
Soldering station with two irons (System, CVPS, 1 CVHP, 1 workstand & access)	2	UN	740,00 €	1 480,00 €	
Hand piece and workstand	2	UN	196,00 €	392,00 €	
Solder tip cleaner	2	UN	209,00 €	418,00 €	
Smoke extractor and accessories:			-	-	
Filter Unit P/H/G	3	UN	599,00 €	1 797,00 €	
Omniflex Arm With Rect. Nozzle Bracket & C-Clamps	3	UN	155,00 €	465,00 €	
Ducting Flexible 60mm x 2.5m w/connectors	3	UN	49,00 €	147,00 €	
Total				2 409,00 €	
Trolley para PCB (Trolley with 1400x850x330mm, wheels ESD, 3x PCB placement levels)	1	UN	808,00 €	808,00 €	
Chair	2	UN	-	-	
Soldering rework station with hot air heat gun	1	UN	-	-	
Valor Final				12 688,00 €	