



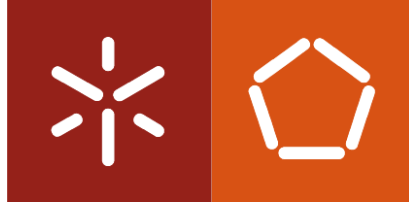
Universidade do Minho

Escola de Engenharia

João José Soares Costa

**Ferramentas Lean na Industrialização de
Novos Produtos numa Multinacional da
Indústria Automóvel**

Janeiro de 2021



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

João José Soares Costa

**Ferramentas Lean na Industrialização de
Novos Produtos numa Multinacional da
Indústria Automóvel**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação da

Professora Doutora Anabela Carvalho Alves

Janeiro 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-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade do Minho, personificada através dos colegas, funcionários e docentes que me acompanharam ao longo do meu percurso académico.

Agradeço à minha professora e orientadora, a Professora Doutora Anabela Carvalho Alves pela orientação e sabedoria transmitidas ao longo do mestrado.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, pelo apoio na realização do segundo mestrado.

Agradeço a todos os colegas da Aptiv com quem tive a oportunidade de trabalhar, em especial aos colegas da equipa de engenharia industrial, José Pinto, André Seara, Jorge Duarte, Tiago Silva, Hugo Moreira, Marisa Gomes, Miriam Oliveira, João Pereira, Carlos Fonseca, João Araújo, António Barros, Daniela Pereira e Sérgio Torres, e aos responsáveis pela coordenação da implementação de novos projetos, Sérgio Costa e José Lopes.

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 realizada no âmbito do Mestrado em Engenharia Industrial – Ramo Gestão Industrial da Universidade do Minho. O projeto foi desenvolvido numa multinacional do ramo automóvel, mais precisamente a APTIV Automotive Systems – Portugal S.A em Braga. O objetivo foi a implementação e melhoria, através de ferramentas de *Lean Manufacturing*, de cinco projetos na fábrica de Braga, dos quais dois projetos são novos produtos, um produto é um redesign de um produto existente e dois projetos são transferências de outras fábricas da Aptiv.

Para a realização desta dissertação foi utilizada a metodologia *action-research*. Iniciou-se esta dissertação com a realização de uma pesquisa bibliográfica sobre a filosofia e ferramentas *Lean*, analisando diversos livros e artigos científicos de autores renomeados, de forma a construir uma base teórica sólida sobre o conhecimento existente nesta área. De seguida, foi feita uma apresentação acerca da empresa e do seu funcionamento, assim como uma descrição do seu sistema produtivo. De seguida, foram apresentados os produtos introduzidos, tendo sido feita uma análise de cada produto, o dimensionamento do seu sistema produtivo, a análise das pré-séries e a apresentação das melhorias implementadas nos diversos processos.

Para cada produto, foram definidos todos os elementos necessários para a sua produção, tais como por exemplo, layouts produtivos, cálculos de capacidade, standard work, sistemas *poke-yoke* e diversa documentação associada aos processos produtivos.

As melhorias implementadas nos diversos processos relacionaram-se com a redução de desperdícios, nomeadamente, sobreprodução, sobreprocessamento, esperas, inventários, movimentações, transportes e defeitos. As melhorias que resultaram do trabalho implementado traduziram-se em ganhos de, aproximadamente, 2,7 milhões de euros. A implementação dos cinco produtos representou no total, em volumes estimados de cerca de 11 milhões de unidades, com uma respetiva faturação associada de mais de mil milhões de euros.

PALAVRAS-CHAVE

Lean Manufacturing, Ferramentas Lean, Industrialização, Melhoria Continua, Automóvel

ABSTRACT

The present dissertation was carried out within the scope of the Master in Industrial Engineering - Industrial Management at the University of Minho. The project was developed at a multinational automotive company, more precisely APTIV Automotive Systems - Portugal S.A in Braga. The goal was to implement and improve, through Lean Manufacturing tools, five projects in the Braga plant, of which two projects are new products, one product is a redesign of an existing product and two projects are transfers from other Aptiv plants.

Action-research was used as a methodology to carry out this dissertation. This dissertation began with research on Lean philosophy and tools, analyzing several books and scientific articles by renowned authors, in order to build a solid theoretical base on the knowledge existing in this area. A presentation about the company and how it works is performed, as well as a description of its production system. The implemented products are described, an analysis of each product is made, as well as the design of its production system, the analysis of prototype builds and the presentation of the improvements implemented in the various processes.

All the elements necessary for the implementation of each product are defined, such as for example, productive layouts, capacity calculations, standard work, poke-yoke systems and various documentation associated with the production processes.

The improvements implemented in the different processes are related to the reduction of waste, namely, overproduction, overprocessing, waiting, inventories, movements, transport and defects. The results that were achieved by implementing these improvements represent savings worth approximately 2.7 million euros. The implementation of the 5 products represents a total estimated volume of around 11 million units, with a corresponding turnover of more than one billion euros.

KEYWORDS

Lean Manufacturing, Lean Tools, Industrialization, Continuous Improvement, Automotive

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	3
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1 Toyota Production System	5
2.1.1 Just-In-Time (JIT)	7
2.1.2 Jidoka	8
2.2 Lean Production.....	9
2.2.1 Princípios Lean Thinking.....	10
2.2.2 Tipos de desperdícios	11
2.3 Ferramentas Lean.....	13
2.3.1 Kaizen e PDCA	13
2.3.2 Mecanismos Poka-Yoke	14
2.3.3 Standard Work.....	16
2.3.4 Técnica 5S	16
2.3.5 Gestão Visual.....	18
2.4 Indicadores de desempenho.....	18
2.4.1 Produtividade	18
2.4.2 Taxa de Produção.....	19

2.4.3	Eficácia Operacional (OE).....	19
2.4.4	Eficiência.....	19
2.4.5	Índice de Planura	20
2.4.6	<i>First Time Quality</i>	20
2.4.7	Capacidade de Produção	20
3.	Apresentação da Empresa	22
3.1	Grupo APTIV	22
3.2	Aptiv Braga	23
3.3	Identificação e localização	23
3.4	Produtos e Principais Clientes	25
3.5	Missão, Visão e Valores da Empresa.....	26
3.6	Fluxo e Processos Produtivos.....	26
3.6.1	Plásticos.....	27
3.6.2	Área Eletrónica	28
3.7	Planeamento da Produção e Fluxo de informação	32
4.	Introdução de novos produtos	34
4.1	Atividades de preparação para a introdução de produtos.....	34
4.2	Introdução de novos Produtos	35
4.2.1	Produto “A”	35
4.2.2	Produto “B”	58
4.3	Modificação de um produto existente.....	70
4.3.1	Produto “C”	70
4.4	Transferências da produção de produtos	80
4.4.1	Produto “D”	81
4.4.2	Produto “E”	95
4.5	Discussão de resultados.....	113
5.	Conclusão	116
5.1	Conclusões	116
5.2	Trabalho futuro	117

Referências Bibliográficas	119
Apêndices	121
Apêndice I – Exemplo de Cálculo do Takt Time	122
Apêndice II – Exemplos de Work Combination Table	123
Apêndice III – Exemplos de Layouts	124
Apêndice IV – Exemplos de Instruções de Trabalho	126
Apêndice V – Standards de bancadas de Trabalho desenvolvidos	131
Apêndice VI – Cálculos de Melhorias (ICIM)	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Casa Toyota Production System (Liker, 2004).....	6
Figura 2 - Modelo 4-P da Toyota (Liker, 2004).....	10
Figura 3 - Problemas ocultos por Inventário (Moore, 2007).....	12
Figura 4 - Ciclo PDCA (Moen & Norman, 2010).....	14
Figura 5 - Os quatro níveis de qualidade (Plenert, 2007)	15
Figura 6 - Áreas de negócio da Aptiv	22
Figura 7 - Vista aérea da fábrica da Aptiv Braga.....	23
Figura 8 - Descrição da fábrica "one page"	24
Figura 9 - Produtos produzidos na Aptiv Braga	25
Figura 10 - Principais Clientes da Aptiv Braga	25
Figura 11 - Valores da Aptiv	26
Figura 12 - Fluxos logísticos entre edifício 1 e 2	27
Figura 13 - Área de produção de plásticos.....	28
Figura 14 - Fluxo produtivo da área de plásticos.....	28
Figura 15 - Área de produção eletrónica.....	29
Figura 16 - Código de identificação gravado a laser	29
Figura 17 - Processos produtivos da área de SMT	30
Figura 18 - Processos produtivos da área de CBA	31
Figura 19 - Processos produtivos da área da montagem final	32
Figura 20 - Vista explodida do produto "A"	36
Figura 21 - Processo produtivo do produto A.....	37
Figura 22- Peça plástica do produto "A"	38
Figura 23 - Fluxo produtivo do produto "A" na área dos plásticos	39
Figura 24 - Fluxo produtivo do produto "A" na área SMT (1)	39
Figura 25 - Fluxo produtivo do produto "A" na área SMT (2)	39
Figura 26 - Dispositivo de clinch e placa com os componentes metálicos após o clinch	40
Figura 27 - Conceito de linha de coating para o produto "A"	40
Figura 28 - Fluxo produtivo do produto "A" na área de CBA.....	41
Figura 29 - Conceito do equipamento de dispensação de pasta térmica	42
Figura 30 - Conceito de aparafusamento do produto "A"	42
Figura 31 - Dispositivo de montagem do Posto 1.....	44

Figura 32 - Dispositivo de montagem do Posto 2.....	45
Figura 33 - Dipositivo de montagem do Posto 3	45
Figura 34 - Dipositivo de montagem do Posto 4	46
Figura 35 - Dipositivo de montagem do Posto 5	47
Figura 36 - Dipositivo de montagem do Posto 6	47
Figura 37 - Dipositivo de montagem do Posto 7	48
Figura 38 - Peças a ser abastecidas à linha de montagem final do produto "A".....	49
Figura 39 - Embalagens idealizadas para as peças do produto "A"	50
Figura 40 - Mockup da linha de montagem final do produto "A"	51
Figura 41 - Exemplo de rampas de abastecimento à linha de montagem final do produto "A"	51
Figura 42 - Conceito do sistema de teste funcional do Produto "A"	52
Figura 43 - Fluxo produtivo do produto "A" na Montagem Final	52
Figura 44 - Percurso do processo produtivo do produto "A".....	53
Figura 45 - Alterações nos dispositivos de montagem final	54
Figura 46 - Dispositivos para aplicação de pasta térmica	54
Figura 47 - Carrinho de change-over de bases.....	55
Figura 48 - Imagem do sistema de eixos para aparafusamento.....	55
Figura 49 - Implementação de novo standard de bancada de análise	57
Figura 50 - Produto "B"	59
Figura 51 - Vista explodida do produto "B".....	59
Figura 52 - Processo produtivo do produto "B"	60
Figura 53 - Peças Plásticas do produto B.....	61
Figura 54 - Fluxo produtivo do produto "B" na área de plásticos	61
Figura 55 - Array de PCB 's do produto "B"	62
Figura 56 - Fluxo produtivo do produto "B" na área de SMT	62
Figura 57 - PCB 's do produto "B" após singulação.....	63
Figura 58 - Fluxo produtivo do produto "B" na área de CBA.....	63
Figura 59 - Prensa e dispositivo de montagem do produto "B"	65
Figura 60 - Posto de montagem do Produto "B"	66
Figura 61 - Imagem da caixa e interior da embalagem final do produto "B"	66
Figura 62 - Fluxo produtivo do produto "B" na área de montagem final.....	67
Figura 63 - Prensa de montagem do botão.....	67

Figura 64 - Layout da montagem final do produto "B"	68
Figura 65 - Tapete antifadiga implementado.....	69
Figura 66 - Produto "C"	70
Figura 67 - Redesign do produto "C".....	71
Figura 68 - Vista explodida do produto "C"	71
Figura 69 - Variantes do produto "C"	72
Figura 70 - Processo produtivo do produto "C"	73
Figura 71 - Peças do produto "C" produzidas na área dos plásticos.....	74
Figura 72 - Fluxo produtivo do produto "C" na área de SMT	74
Figura 73 - Fluxo produtivo do produto "C" na área de CBA.....	75
Figura 74 - Support sleeves	75
Figura 75 - Posição das <i>sleeves</i> e <i>support</i> na cover	76
Figura 76 - Dispositivo criado para o posto de montagem 2.....	77
Figura 77 - Fluxo produtivo do produto "C" na área de montagem final	77
Figura 78 - Prensa do Produto "C"	78
Figura 79 - Utilização de um A3 para estudar a redução de postos de trabalho.....	79
Figura 80 - Resultado final da redução dos postos de montagem do produto "C".....	80
Figura 81 - Produto "D"	81
Figura 82 - Vista explodida do produto "D"	82
Figura 83 - Produto "D1" e "D2".....	82
Figura 84 - Processo produtivo do produto "D".....	83
Figura 85 - Método de transporte das placas eletrônicas do produto "D"	84
Figura 86 - Inserção de pinos na Power Board	85
Figura 87 - Separação dos <i>arrays</i> de PCB 's.....	87
Figura 88 - Linha de automática vs linha manual	89
Figura 89 - Dispositivos para abastecimento para o produto "D" em CBA	91
Figura 90 - Protótipo de máscara de fusíveis de uma versão do produto "D"	93
Figura 91 - Layout da linha de montagem final manual do produto "D1"	94
Figura 92 - Layout da área de produção nova dedicada ao Produto "D"	95
Figura 93 - Produto "E"	96
Figura 94 - Vista explodida do Produto "E"	97
Figura 95 - Processo produtivo do produto "E"	97

Figura 96 - Palete de soldadura e calcador do produto "E"	99
Figura 97 - Dipositivos de abastecimento de material para a área de CBA	100
Figura 98 - Conceito existente VS novo conceito de montagem de fusíveis	101
Figura 99 - Equipamento de inspeção automático de fusíveis	102
Figura 100 - Paletes de <i>coating</i> do produto "E"	102
Figura 101 - Sandwich de Electronic board e Power board	103
Figura 102 - Montagem Final do Produto "E"	104
Figura 103 - Prensa do <i>housing</i>	104
Figura 104 - Sistemas de teste do produto "E"	105
Figura 105 - Embalagem final idealizada para o produto "E"	105
Figura 106 - Sequência de montagem do produto "E"	106
Figura 107 - Embalagem interna entre processos para as placas	106
Figura 108 - Layout dos equipamentos de montagem do produto "E"	108
Figura 109 - Palete de soldadura com molas de fixação	108
Figura 110 - Calcador para paletes de <i>coating</i>	109
Figura 111 - Rampa de <i>coating</i> FIFO.....	110
Figura 112 - Layout área nova para 5000 unidades por semana	112
Figura 113 - Layout área nova para 15000 unidades por semana	112
Figura 114 - Transporte entre edificios do produto "E"	112
Figura 115 - Embalagens elaboradas para o transporte de placas entre edificios	113
Figura 116 - <i>Work Combination Table</i> - Produto "B"	123
Figura 117 - <i>Work Combination Table</i> - Produto "E"	123
Figura 118 - Layout da montagem final do produto "A"	124
Figura 119 - Layout da montagem final do produto "B"	124
Figura 120 - Layout da montagem final do produto "C"	124
Figura 121 - Layout da montagem final do produto "D"	124
Figura 122 - Layout dos diversos processos do produto "E"	125
Figura 123 - Instrução de trabalho produto "A" - Montagem Final - Posto 1	126
Figura 124 - Instrução de trabalho produto "A" - T-Grease.....	126
Figura 125 - Instrução de trabalho produto "B" - Montagem Final - Posto 1	127
Figura 126 - Instrução de trabalho produto "C" - Montagem Final - Posto 1	127
Figura 127 - Instrução de trabalho produto "A" - CBA - Posto 3	128

Figura 128 - Instrução de trabalho produto "D" - Montagem Final - Posto 1	128
Figura 129 - Instrução de trabalho produto "D" - Montagem Final - Posto 6	129
Figura 130 - Instrução de trabalho produto "E" - Montagem Fusíveis - Posto 3	129
Figura 131 - Instrução de trabalho produto "E" - Montagem Final - Posto 2	130
Figura 132 - Instrução de trabalho produto "E" - Montagem Final - Posto 3	130
Figura 133 - Bancada de análise.....	131
Figura 134 - Bancada de laboratório	131
Figura 135 - Bancada de chefe de linha	131
Figura 136 - Cálculo de melhorias na montagem final do produto "A"	132
Figura 137 - Cálculo de melhorias na montagem final do produto "B"	132
Figura 138 - Cálculo de melhorias na montagem final do produto "C"	133
Figura 139 - Cálculo de melhorias em CBA do produto "D" (1).....	133
Figura 140 - Cálculo de melhorias em CBA do produto "D" (2).....	134
Figura 141 - Cálculo de melhorias na montagem de fusíveis do produto "D" (3)	134
Figura 142 - Cálculo de melhorias em CBA do produto "E" (1)	135
Figura 143 - Cálculo de melhorias na montagem final do produto "E" (2)	135

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Horários dos turnos de Produção da Aptiv Braga.....	27
Tabela 2 - Volumes e tempos do produto A	38
Tabela 3 - Valores de referência para operações de montagem	43
Tabela 4 - Cálculo do número de postos da linha de montagem final do produto "A"	43
Tabela 5 - Conteúdo de trabalho do posto 1	44
Tabela 6 - Conteúdo de trabalho do posto 2.....	44
Tabela 7 - Conteúdo de trabalho do posto 3.....	45
Tabela 8 - Conteúdo de trabalho do posto 4.....	46
Tabela 9 - Conteúdo de trabalho do posto 5.....	46
Tabela 10 - Conteúdo de trabalho do posto 6.....	47
Tabela 11 - Conteúdo de trabalho do posto 7.....	48
Tabela 12 - Análise de tempos das pré-séries do produto "A "	56
Tabela 13 - Volumes e tempos do produto B.....	60
Tabela 14- Conteúdo de trabalho do produto "B"	64
Tabela 15 - Cálculo do número de postos de trabalho do produto "B"	64
Tabela 16 - Ganho obtido na montagem final do produto "B"	65
Tabela 17 - Revisão do conteúdo de trabalho do produto "B"	68
Tabela 18 - Volumes e tempos do produto "C".....	73
Tabela 19 - Análise das hipóteses para reconfiguração da montagem final	76
Tabela 20 - Resultados do balanceamento dos postos de trabalho no produto "C".....	78
Tabela 21 - Volumes e tempos do produto "D1".....	83
Tabela 22 - Volumes e tempos do produto "D2".....	83
Tabela 23 - Distribuição do conteúdo de trabalho do produto "D" em CBA.....	85
Tabela 24 - Distribuição do conteúdo de trabalho do produto "D" nos postos de <i>press-fit</i>	87
Tabela 25 - Distribuição do conteúdo de trabalho montagem de fusíveis.....	89
Tabela 26 - Distribuição do conteúdo de trabalho da prensa de fusíveis.....	90
Tabela 27 - Evolução dos tempos de ciclo na montagem de CBA	91
Tabela 28 - Conteúdo de trabalho revisto dos postos 1 e 2.....	92
Tabela 29 - Conteúdo de trabalho revisto dos postos de montagem de fusíveis.....	93
Tabela 30 - Volumes e tempos do produto "E"	98

Tabela 31 - Saltos de capacidade do produto "E"	98
Tabela 32 - Distribuição do conteúdo de trabalho na área de CBA	99
Tabela 33 - Distribuição do conteúdo de trabalho nos postos de <i>press-fit</i>	103
Tabela 34 - Cálculo dos equipamentos para a produção de 5000 unidades / semana	107
Tabela 35 - Sequência de trabalho nos equipamentos de <i>press-fit</i>	110
Tabela 36 - Dimensionamento para 15.000 unidades/semana	111
Tabela 37 - Quadro resumo da análise quantitativa das melhorias implementadas	115

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AVI - *Automated Vision Inspection*

BOM – *Bill of Materials*

CBA – *Circuit Board Assembly*

FA – *Final Assembly*

FIS – *Factory Information System*

FTQ – *First Time Quality*

IC – *Integrated Circuit*

ICIM – *Integrated Continuous Improvement Methodology*

IT - *Instruções de Trabalho*

JIT – *Just-in-Time*

KPI – *Key Performance Indicator*

OE – *Operational Efficiency*

PC&L – *Planning, Control & Logistics*

PCB – *Printed Circuit Board*

PDCA - *Plan-Do-Check-Act*

PFMEA – *Process Failure Mode and Effects Analysis*

PPIE – *Pre Production Industrial Engineer*

QRC – *Quick Response Code*

SOP – *Start of Production*

SMT – *Surface Mount Technology*

TC – *Tempo de Ciclo*

THT - *Through Hole Technology*

TPS – *Toyota Production System*

TT – *Takt Time*

WIP - *Work-in-Process*

1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação foi realizada na *Aptiv Automotive Systems*, no âmbito do Mestrado em Engenharia Industrial – Ramo Gestão Industrial, da Universidade do Minho. Neste capítulo é feito um enquadramento da dissertação, são apresentados os objetivos, a metodologia de investigação seguida e a sua estrutura.

1.1 Enquadramento

No contexto de crescimento da empresa *Aptiv Automotive Systems-Portugal S.A* a implementação de novos produtos, assim como, as transferências de produtos de outras fábricas Delphi da Europa, assumem especial importância para o futuro próximo da empresa, tanto pela diversidade de produtos, como pelo volume dos mesmos. Assim, torna-se imperativo a análise e redução de desperdícios em processos produtivos e uma melhor utilização de recursos.

A preocupação com a eliminação de todos os tipos de desperdícios remonta à introdução do *Toyota Production System* (TPS), por *Taiichi Ohno* da empresa automóvel Toyota (Ohno, 1988). O *Toyota Production System* é a designação de *Lean Production* no livro “*The Machine That Changed the World*” (Womack et al., 1990). Neste livro os autores apresentaram um estudo que consistia na comparação do desempenho do sistema de produção das empresas de automóveis japonesas, com particular destaque para a Toyota, com as empresas americanas. Os resultados desse estudo demonstraram que, o desempenho da empresa japonesa, Toyota, era superior ao das empresas americanas. O *Lean Production* tem como objetivo a eliminação dos desperdícios e a criação de valor (Womack et al., 1990).

Consideram-se desperdícios todas as atividades presentes num processo produtivo e que além de não acrescentarem valor ao produto consomem recursos (Womack & Jones, 1996). Ohno (1988) identificou os sete desperdícios principais existentes nas empresas tendo sido, mais tarde, verificados por Shingo (1989), como sendo: espera, defeito, transporte, movimentação, inventário, processamento inadequado (sobprocessamento) e a sobreprodução, considerada por muitos como o pior dos desperdícios (Imai, 1997).

A eliminação destes desperdícios e o conseqüente aumento no desempenho das empresas tem sido conseguido através da implementação do *Lean Manufacturing*, tal como demonstrado na literatura por diversos autores, nomeadamente Fullerton & McWatters (2001).

Manter simultaneamente o foco na eficiência e na qualidade é uma estratégia difícil, porém necessária para fornecer produtos comercialmente viáveis no atual mundo de competição global. Desta forma, as empresas de manufatura pretendem mudar o seu *modus operandi* dominado pela eliminação de desperdícios ao nível do chão de fábrica para alavancar a criação de valor em todas as atividades diretas ou indiretas dentro do fluxo de valor do produto.

Uma das estratégias mais populares a este respeito, que se foca na eficiência e na qualidade, consiste em aplicar o conceito *Lean* no desenvolvimento de produtos (Welo & Ringen, 2016). A área de desenvolvimento de produtos tem enorme potencial para encontrar oportunidades de melhoria: o tempo necessário para desenvolver um novo produto, a satisfação dos requisitos do cliente e a forma como novos produtos podem ser produzidos são áreas em que a maioria das empresas pode fazer melhorias com grande impacto. *Lean Product Development* (LPD) pode ser definido como a aplicação de princípios *Lean* no desenvolvimento de produtos, com o objetivo de desenvolver produtos novos ou melhores que tenham sucesso no mercado (Rauch et al., 2016).

A Aptiv Portugal S.A., em Braga atravessa atualmente um momento de grande transformação com a entrada de diversos novos produtos e processos e com um aumento significativo dos volumes de produção. Até 2017 a área de negócio da fábrica Aptiv de Braga era *Infotainment and Driver Interface* (IDI), sendo que a fábrica a partir daí diversificou a produção integrando projetos da área *Electronic Controls* (EC). Neste sentido, tornou-se importante que a entrada destes novos produtos e processos ocorresse de uma forma suave, com soluções que fossem adequadas às exigências e especificidades do ramo automóvel e com o mínimo desperdício (presente e futuro), de modo a criar benefícios para a empresa tanto em termos de custos como em termos de qualidade.

1.2 Objetivos

O objetivo deste projeto de dissertação consistiu na aplicação de princípios e ferramentas de *Lean Production*, na implementação de novos produtos na empresa Aptiv Portugal S.A. em Braga. Assim, foi necessário proceder às seguintes etapas:

- Analisar dois novos projetos implementados na fábrica de Braga;
- Analisar dois projetos relativos a transferências de outras fábricas da Aptiv;
- Analisar a implementação de um produto modificado;

- Definir os layouts relativos à implementação dos novos projetos;
- Implementar melhorias nos projetos de linhas e células de montagem dos novos produtos;
- Implementar melhorias nos sistemas produtivos transferidos para a fábrica de Braga;
- Definir *standard work* para novos processos;
- Balancear o conteúdo de trabalho;
- Desenvolver sistemas *Poka-Yoke* para os novos projetos;
- Implementar melhorias relativamente ao que estava definido anteriormente para estes novos projetos;
- Definir um plano de formação para os colaboradores e implementar melhorias relativamente ao acesso às instruções de trabalho.

Concretizado o objetivo principal espera-se:

- Reduzir desperdícios (operações desnecessárias; movimentações e manuseamento de materiais; defeitos; esperas; quantidades de WIP; entre outros);
- Aumentar a produtividade e flexibilidade dos sistemas produtivos.

1.3 Metodologia de Investigação

A realização desta dissertação iniciou com uma pesquisa bibliográfica em várias fontes sobre a informação existente acerca de *Lean Production* e as suas ferramentas. A pesquisa incidiu em artigos científicos, livros e dissertações relacionados com o tema desta dissertação. De seguida a informação recolhida será compilada numa revisão bibliográfica de forma a que exista uma base sólida de conhecimento acerca do tema da dissertação.

Para a presente dissertação foi usada uma metodologia de investigação *Action Research* que consiste num processo de investigação ativo onde há o envolvimento direto do investigador, interagindo com todas as pessoas envolvidas no projeto. Esta metodologia envolve cinco fases: o diagnóstico, o planeamento de ações, a implementação de ação ou ações selecionadas, a avaliação do resultado dessas ações e a especificação de aprendizagem numa síntese de principais resultados atingidos, identificando se os problemas foram ou não resolvidos, iniciando o ciclo se necessário (Saunders et al., 2009).

Na primeira fase da metodologia *Action Research*, realizou-se um diagnóstico e análise crítica da situação atual dos novos projetos e transferências que irão ser implementados na fábrica com o objetivo de tentar encontrar ações de melhoria e prevenir potenciais problemas. Para a elaboração deste diagnóstico será necessário examinar os detalhes de cada projeto. Para tal, irá proceder-se ao levantamento de todos os detalhes dos projetos, volumes, tempos de ciclo e *takt time*, especificações técnicas, requisitos especiais dos clientes, processos e fluxos de produção, limitações e standards da empresa entre outros.

Na fase seguinte da metodologia *Action Research*, e depois de identificados os potenciais problemas e oportunidades de melhoria, identificou-se alternativas e propostas de melhoria na implementação dos novos projetos.

Com o plano de ações devidamente estudado e aprovado, procedeu-se à implementação dos projetos e propostas de melhoria selecionadas.

Posteriormente foi realizada uma análise, com base no estudo inicial, para aferir se os benefícios foram atingidos com a implementação das propostas de melhoria.

Por último, na fase da especificação da aprendizagem, são retiradas conclusões sobre o trabalho desenvolvido e são propostas ações de melhoria para trabalho futuro que, por algum motivo, não puderam ser implementadas, tendo como objetivo a melhoria contínua.

1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. No primeiro capítulo é feita uma apresentação da dissertação e dos seus objetivos, a metodologia usada na sua condução, assim como a estrutura da mesma. No segundo capítulo é apresentada uma revisão da literatura acerca das metodologias usadas na elaboração do trabalho, alvo desta dissertação. No terceiro capítulo é apresentada a empresa onde a dissertação foi realizada, são apresentadas informações institucionais acerca da empresa, assim como, é descrito o processo produtivo da fábrica. O quarto capítulo, dividido em cinco subcapítulos, apresenta os diversos projetos implementados, descrevendo diversas melhorias assim como a avaliação das mesmas. Neste capítulo também são apresentados e discutidos os resultados. No capítulo cinco são apresentadas as conclusões da dissertação e o trabalho futuro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica acerca dos conteúdos teóricos que serviram de base para o trabalho realizado no âmbito desta dissertação. Será feita uma abordagem às origens do *Lean Manufacturing*, através da apresentação do seu precursor, o *Toyota Production System*. Serão ainda abordados os princípios da filosofia *Lean*, os diferentes tipos de desperdícios e as suas ferramentas, que levaram esta metodologia a criar um impacto tão significativo e revolucionar o paradigma da indústria.

2.1 Toyota Production System

O Toyota Production System (TPS) surgiu no Japão no período após a segunda guerra mundial, desenvolvido e promovido pela Toyota Motor Corporation e adotado por muitas empresas japonesas posteriormente. O principal objectivo deste sistema de produção é através de atividades de melhoria, eliminar diversos tipos de desperdícios ocultos dentro de uma empresa, de forma a reduzir custos. Assim, mesmo durante períodos de crescimento lento, a Toyota conseguiu obter lucro reduzindo custos através de um sistema produtivo que se focava em eliminar inventário e força laboral excessiva (Monden, 1998).

Desenvolvido pelo vice-presidente da Toyota Motor Company, Taiichi Ohno, o Toyota Production System teve como ponto de partida as características distintas do Japão. De entre estas características, pode destacar-se a falta de recursos naturais, o que implica a importação de grandes quantidades de matérias primas, que colocam o Japão numa posição desvantajosa em termos de custos quando comparado com outros países. Para ultrapassar esta desvantagem natural, foi fundamental para a indústria japonesa direccionar os seus esforços no sentido de produzir produtos de melhor qualidade, com maior valor acrescentado e custos de produção mais baixos do que em outros países. Outra característica própria do Japão é a cultura de trabalho, caracterizada por consciência coletiva, igualdade, desejo de melhoria, um alto nível de educação superior e uma vida centrada no trabalho.

Assim, tendo como base as características diferenciadoras apresentadas, a Toyota baseou o planeamento e a operacionalização da sua produção em dois conceitos. O primeiro conceito está relacionado com a redução dos custos através da eliminação dos desperdícios, de modo a obter um sistema produtivo que apenas consome o estritamente necessário. O segundo conceito está relacionado com o reconhecimento das capacidades dos trabalhadores e com importância de gerar um ambiente favorável para permitir aos trabalhadores desenvolver o seu potencial e exprimir as suas capacidades (Sugimori et al., 1977; Ohno, 1988).

A ênfase na responsabilidade dos trabalhadores é de facto uma mudança no paradigma característica própria do TPS. Utilizar plenamente as capacidades dos trabalhadores implica uma cultura de respeito pelos trabalhadores, reduzindo os desperdícios associados ao trabalho dos operadores, assegurando a segurança e dando-lhes uma maior responsabilidade e autonomia na participação de melhoria dos seus trabalhos (Womack et al., 1990).

A Toyota encontrou formas de combinar as vantagens de produção em pequenos lotes com as economias de escala na produção e compras, mas contrariamente à perceção comum, o desenvolvimento e implementação deste sistema produtivo requereu tempo considerável e resulta de aprendizagens e iterações ao longo de décadas. É esta capacidade de aprendizagem dinâmica que está no centro do sucesso do TPS (Holweg, 2007; Lander & Liker, 2007).

De facto, a organização da Toyota integrou diversos conceitos do sistema de produção da Ford, assim como conceitos de outras indústrias, como por exemplo da indústria têxtil, adaptando-os através da sua filosofia para uma realidade diferente. Desta forma, o *Toyota Production System* é um sistema híbrido integrando as melhores práticas, não sendo apenas produto original dos fabricante de automoveis japoneses (Fujimoto, 1999).

A metodologia TPS é frequentemente representada através do formato de uma casa. A casa TPS, apresentada na Figura 1, representa as relações entre os princípios, as ferramentas e os objetivos que constituem a metodologia do *Toyota Production System* (Liker, 2004).



Figura 1 - Casa Toyota Production System (Liker, 2004)

Pode-se verificar que na base da casa TPS está a produção nivelada, a estabilidade e estandardização dos processos, a gestão visual e a filosofia da Toyota, que providencia a sustentação necessária a toda a metodologia.

Como referido anteriormente, a Toyota centrou o planeamento e a operacionalização da sua produção em dois conceitos, a redução dos desperdícios e a importância dos trabalhadores e do trabalho em equipa. Estes conceitos assumem uma posição de centralidade na casa do TPS, tendo em vista a melhoria contínua, ou em japonês, Kaizen.

No topo da casa estão os objetivos do TPS, sendo eles, a melhor qualidade, o menor custo, o menor Lead Time, a maior segurança e uma elevada moral na organização.

Os pilares fundamentais sobre os quais a casa assenta, são o Jidoka e o Just-in-Time, que serão abordados de forma mais aprofundada de seguida.

2.1.1 Just-In-Time (JIT)

O *Just-in-Time* (JIT), um dos dois pilares do TPS, tem como objetivo a produção do produto certo, na quantidade certa e na altura certa (Liker, 2004). Dois objetivos do JIT são melhorar a qualidade e o controlo sobre o plano de produção controlo de inventários. O foco na qualidade, produz menos sucata e retrabalho e uma comunicação mais eficaz dentro da organização. A redução do inventário implica que a produção consiga dar resposta mais rapidamente a erros e mudanças na procura. O tempo de atravessamento é reduzido, assim como as atividades que não acrescentam valor, como esperas, movimentações e inspeção que podem representar até 95% dos custos produtivos (Fullerton & McWatters, 2001).

Para a implementação, o JIT requer que sejam cumpridos alguns pressupostos, tais como estabelecer um sistema produtivo do tipo “pull”, um fluxo produtivo nivelado do tipo *one-piece-flow* e com o mínimo de inventário (Sugimori et al., 1977).

O primeiro requisito do JIT é estabelecer uma produção do tipo “pull”. Num sistema de controlo de produção comum, este requisito é cumprido com o planeamento de todos os processos produtivos. Os diferentes processos produtivos, produzem de acordo com um plano, através de um método em que os processos a montante abastecem os sistemas a jusante, empurrando o produto ao longo do sistema produtivo. Contudo este método torna difícil a adaptação a mudanças repentinas causadas por problemas em algum processo ou flutuações de procura, dado que seria necessário mudar o plano produtivo de todos os processos ao mesmo tempo, tornando difícil utilizar esta abordagem quando são

necessárias mudanças constantes. Como resultado, a empresa tem de acumular inventário entre todos os processos para absorver problemas produtivos e alterações à procura. Assim, um sistema desta natureza frequentemente conduz à existência de material obsoleto, excesso de equipamentos e trabalhadores quando existe uma mudança de produto.

O JIT pelo contrário é revolucionário nesse aspeto, dado que é o processo a jusante que puxa os produtos dos processos a montante, sendo conhecido como sistema “pull”. Desta forma, é apenas a montagem ou processo final que recebe a informação acerca das necessidades do cliente e informa os processos anteriores sobre o que necessitam de produzir para cumprir com os pedidos (Monden, 1998).

O segundo requisito do JIT é estabelecer o *one-piece-flow*, isto é, introduzir a condição de que todos os processos produzam apenas uma peça de cada vez, seja transportada apenas uma peça de cada vez e exista apenas uma peça entre equipamentos e processos. Isto significa que não é permitido a nenhum processo produzir mais que o estipulado e ter inventário em excesso entre processos.

O terceiro requisito está relacionado com o nivelamento da produção através do conceito de Takt Time. Antes da segunda Guerra uma delegação da Toyota visitou a *Focke-Wulff aircraft works*, na Alemanha, onde tiveram a oportunidade de observar o conceito produtivo “Produktionstakt”, que mais tarde originou o que hoje se conhece como “*Takt Time*” (Holweg, 2007). O conceito de *Takt Time* está relacionado com o dimensionamento da produção de acordo com as necessidades do cliente, sendo que todos os processos do sistema produtivo devem estar alinhados nesse sentido.

O quarto princípio é a eliminação de desperdícios resultantes da sobreprodução. O conceito subjacente ao JIT é de que o valor do inventário deve ser considerado prejudicial. Num sistema produtivo convencional, a existência de *stock* é considerada uma forma de responder a problemas causados por problemas nos processos ou flutuações na procura.

A Toyota considera o stock apenas uma coleção de problemas causados por problemas do processo, classificando o stock originado pela sobreprodução o pior de todos os desperdícios, como vai ser explicado mais à frente (Sugimori et al., 1977).

2.1.2 Jidoka

O *Jidoka*, ou *autonomation*, o outro pilar da casa TPS, é um conceito que surgiu a partir de uma invenção de Toyoda Sakichi, um tear que parava automaticamente quando um fio se rompia (Ohno, 1988).

Assim, este conceito está relacionado com o controlo automático de defeitos e pode ser definido através da autonomia e responsabilidade dada à máquina ou ao operador para parar o processo produtivo sempre que for detetado algum defeito ou anomalia.

A importância deste pilar está relacionada com duas razões segundo Sugimori et al. (1977). Por um lado, este pilar permite prevenir a sobreprodução e, por outro lado, controla as anomalias que podem ocorrer durante a produção. Assim, o equipamento deve estar preparado para parar quando a quantidade prevista for produzida, conferindo dessa forma precisão ao sistema para desenvolver uma produção *Just-in-Time*. O processo deve parar quando é identificada uma anomalia, prevenindo que sejam passados defeitos para jusante e possibilitando uma intervenção dirigida ao equipamento ou trabalhador que solicitou a paragem. Assim, este pilar está fundamentado no conceito da utilização plena das capacidades dos trabalhadores e desta forma promove a eliminação de desperdícios pelos próprios trabalhadores, a consideração pela segurança dos trabalhadores e o reconhecimento das suas capacidades, conferindo-lhes maior responsabilidade e autoridade.

2.2 Lean Production

O conceito de *Lean Manufacturing*, usado pela primeira vez por Krafcik em 1988, foi divulgado mais amplamente através do livro “*The Machine That Changed the World*” de Womack et al. (1990). Foi uma revisão acerca da história do desenvolvimento do *Lean Manufacturing*, principalmente o que se deu na Toyota e do seu desempenho superior. Outros autores como Standard & Davis (1999) e Liker (2004) escreveram acerca da metodologia *lean*, dos seus princípios e de como os aplicar.

Standard & Davis (1999) colocam ênfase na redução da variabilidade do processo, na redução de tempos de ciclo e sobretudo na eliminação de desperdícios nos processos de manufatura e na cadeia de abastecimento, desde da receção da encomenda até à entrega do produto e pagamento.

Liker (2004) usa um modelo em pirâmide para apresentar a abordagem da Toyota. A base da pirâmide é a gestão baseada numa filosofia de pensamento a longo prazo, mesmo que seja à custa de resultados financeiros a curto prazo. O nível seguinte da pirâmide está relacionado com a definição de processos apropriados, de forma a que o fluxo produtivo seja nivelado, puxado, standard e visual, de forma a que seja fácil identificar os problemas. O nível acima está relacionado com o respeito pelas pessoas e pelos parceiros, desafiando-os e ajudando-os a crescer e a melhorar. O nível superior da pirâmide deste modelo é a resolução de problemas, usando ferramentas de melhoria contínua, tais como o *Kaizen* e o Genchi Genbutsu.

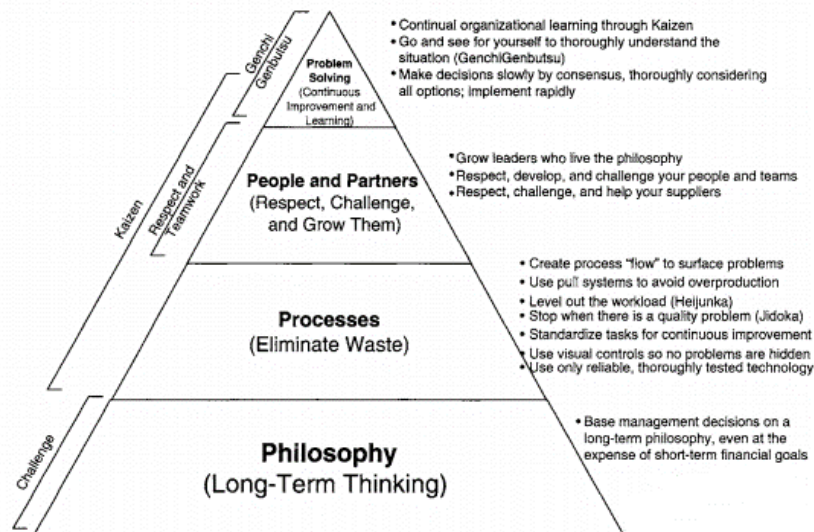


Figura 2 - Modelo 4-P da Toyota (Liker, 2004)

Para a Toyota, as pessoas são ativos, que valorizam com o tempo, tornando-se, através da formação, vantagens competitivas de valor incalculável. Segundo Liker (2004), a Toyota nunca dispensaria trabalhadores devido a melhorias de produtividade. Esta visão limitada de redução de custos iria criar um sentimento de descontentamento em relação à empresa e impedir outros trabalhadores de participar em futuros eventos de *Kaizen*. A Toyota busca sempre trabalho alternativo de valor acrescentado para os trabalhadores que necessitam de realocação devido a melhorias no sistema produtivo, porque os colaboradores são o recurso mais valioso que possui.

Este é um ponto fundamental, salientado por diversos autores acerca do *Lean Manufacturing*, de que esta metodologia não tem como objetivo a redução de funcionários, mas a melhoria da produtividade. Infelizmente, a abordagem tradicional de muitas empresas para a melhoria e redução de custos, passa por cortes de funcionários, reestruturações e pressão sobre fornecedores, o que não é uma abordagem sustentável. No *Lean Manufacturing*, os custos são vistos como uma consequência de práticas, sistemas e processos, portanto a redução de custos ocorre quando estes são melhorados (Moore, 2007).

2.2.1 Princípios Lean Thinking

A filosofia *Lean* possui cinco princípios fundamentais, como referido anteriormente, descritos por Womack et al., (1996), sendo eles a definição de valor, identificação da cadeia de valor, o fluxo contínuo, o sistema pull e a busca pela perfeição. Para que haja uma mudança a nível organizacional ao encontro do *Lean*, não basta aplicar ferramentas, sendo necessário cultivar os princípios da filosofia na organização.

O primeiro princípio está relacionado com definição e identificação de valor do ponto de vista do cliente, isto é, valor é o conjunto de características e funções de um produto pelas quais um cliente está disposto a pagar. Desta forma é necessário um entendimento profundo acerca dos requisitos do cliente para poder definir que operações acrescentam valor ao produto, sendo as restantes consideradas desperdício.

O segundo princípio está relacionado com a identificação da cadeia de valor. Para isso é necessário identificar e mapear todas as atividades usadas para produzir determinado produto. Estas atividades podem ser atividades que acrescentam valor ao produto, atividades que não acrescentam valor, mas que são necessárias, e por fim as atividades que não acrescentam valor e que devem, portanto, ser eliminadas.

O terceiro princípio implica criar um fluxo contínuo ao longo de toda a cadeia de valor. Assim, o objetivo deste princípio passa por ter um fluxo produtivo sem tempos de espera ou inventários entre processos, sendo de preferência um fluxo unitário de produtos, que vá de encontro às necessidades do cliente.

O quarto princípio visa estabelecer um sistema produtivo do tipo “pull”, isto é, um sistema em que a produção apenas é iniciada com o pedido do cliente e que produz apenas o que é necessário para satisfazer as necessidades do mesmo. Para além disso, isto implica, em termos de sistema produtivo, que um processo a jusante não produza enquanto que o processo a montante não solicitar. Desta forma é evitada a sobreprodução e todos os defeitos associados.

O quinto princípio, a busca pela perfeição, está relacionada com a importância que a melhoria contínua representa no *Lean*. A perfeição que se busca é produzir de acordo com os requisitos do cliente, em termos de qualidade, preço e prazo de entrega, sem qualquer tipo de desperdício.

2.2.2 Tipos de desperdícios

Como referido anteriormente, a identificação e eliminação dos desperdícios tem um papel central na filosofia de *Lean Manufacturing*. Os sete desperdícios enumerados por Ohno (1988) e Shingo (1989) são a sobreprodução, as esperas, o sobreprocessamento, movimentações, inventário, transporte, e defeitos. Serão explicados de seguida de acordo com os autores.

A sobreprodução ocorre quando se produz mais do que o que é necessário ou de forma antecipada em relação aos pedidos feitos pelo cliente. É considerado o pior de todos os desperdícios, dado que dá origem a outros desperdícios, tais como movimentações, transportes, esperas e inventários.

As esperas ocorrem quando existem períodos de tempo não produtivos por parte de pessoas ou equipamentos. As esperas podem ocorrer devido a diversas razões, tais como, faltas de material, falhas

de equipamentos, tempo de *change-over* ou desbalanceamento dos processos, obrigando a esperas até que terminem os processos a montante ou jusante,

O sobreprocessamento é um desperdício que ocorre quando são executadas operações ou processos errados ou desnecessários, que não acrescentam valor ao produto e pelas quais o cliente não está disposto a pagar.

Os inventários consistem em excessos de matéria prima, material entre processos (WIP) e produto acabado, que pode ter diversas causas, tais como a sobreprodução ou fluxos produtivos desbalanceados, e que podem representar um elevado desperdício económico.

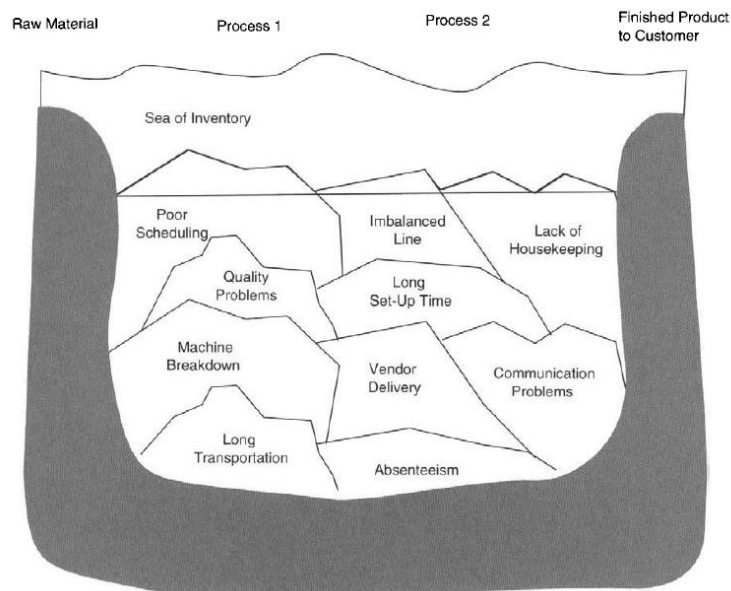


Figura 3 - Problemas ocultos por Inventário (Moore, 2007)

Outro problema relacionado com os inventários, além do capital investido desnecessariamente na sua produção, é que esconde os problemas de uma organização, impedindo a sua visualização e resolução, como pode ser observado na Figura 3. Em particular, os inventários excessivos causados pela sobreprodução escondem problemas como desbalanceamento entre postos de trabalho e processos, problemas nos processos produtivos, esperas, excesso de capacidade de operadores e equipamento os e manutenção preventiva insuficiente, problemas estes, que impedem o trabalho de melhoria continua e evolução de uma organização e que devem por isso ser resolvidos.

As movimentações referem-se ao desperdício que ocorre quando existem movimentos desnecessários realizados pelos operadores. Este desperdício pode ter origem em layouts ineficientes ou em postos de trabalho desorganizados.

O transporte é um desperdício que se refere a qualquer movimento ou transferência de materiais. Apesar de haver necessidade de transportar materiais, esta deve ser reduzida ao mínimo através da adoção de um *layout* eficiente.

Os defeitos, referem-se a produtos não conformes com os requisitos do cliente. Este tipo de desperdício origina custos relacionados com inspeções, retrabalhos, reparações, sucata ou reclamações do cliente, sendo por isso fundamental a existência de um processo produtivo centrado na qualidade.

2.3 Ferramentas Lean

Serão de seguida apresentadas algumas das principais ferramentas Lean, sendo que serão aprofundadas aquelas que tiverem mais relevância para o desenvolvimento do trabalho no âmbito desta dissertação.

2.3.1 Kaizen e PDCA

Kaizen, palavra japonesa que significa mudança para melhor ou melhoria contínua, é fundamental para o *Lean manufacturing* que haja continuamente a vontade de melhorar (Imai, 1997).

O principal objetivo do *Kaizen* é a obtenção simultânea de excelência na qualidade, no custo e na entrega dos produtos. A qualidade do produto final, do produto intermédio e dos processos é fundamental, sendo que má qualidade nunca pode ser passada para o processo seguinte. O custo total do produto, incluindo os custos de desenvolvimento, produção, venda e serviço, deve ir de encontro ao pretendido pelo cliente. Relativamente à entrega, é importante que esta seja feita com os volumes pretendidos, na data e hora pretendida e de forma consistente. Estas três condições devem ser satisfeitas para ir de encontro às necessidades do cliente e da própria organização.

As três maiores atividades do *Kaizen* são os 5S, o *Standard Work* e a eliminação de desperdícios, de forma a atingir melhorias. As melhorias obtidas pelo *Kaizen*, devem ser orientadas por metas e medidas, sendo que apesar de desafiantes devem ser realistas e tangíveis (Moore, 2007).

O *Kaizen* é uma ferramenta de melhoria contínua que não se baseia em grandes investimentos económicos, mas que se foca antes em pequenas atividades de melhoria e em envolver toda a organização para a eliminação de desperdícios (Kiran, 2017b).

O ciclo PDCA é usado em empresas para iniciar, controlar e analisar melhorias, sendo por isso considerado uma base para a melhoria contínua. O ciclo PDCA compreende quatro etapas principais, planejar, fazer, verificar e agir (Moen & Norman, 2010) (Figura 4).



Figura 4 - Ciclo PDCA (Moen & Norman, 2010)

O primeiro passo (Planejar) estuda a situação atual, recolhendo dados para formular um plano para uma possível melhoria. O segundo passo (Fazer) está relacionado com a implementação do plano. Depois da implementação do plano, segue-se o terceiro passo (Verificar), a verificação de que a implementação da melhoria trouxe os resultados esperado. Quando é verificado o sucesso da implementação da melhoria, segue-se o quarto passo (agir), uma normalização metódica, para assegurar que os novos métodos introduzidos são praticados para uma melhoria sustentada (Gao & Low, 2014).

2.3.2 Mecanismos Poka-Yoke

A palavra japonesa *Poka-yoke*, que significa “à prova de erro”, refere-se a uma ferramenta fundamental para a garantia de qualidade em qualquer processo *Lean*. Um *Poka-yoke* é um dispositivo que previne ou deteta defeitos que podem prejudicar a qualidade do produto ou a segurança das pessoas (Saurin et al., 2012).

De acordo com Shingo (1988), um poka-yoke é um mecanismo para detetar erros e defeitos, que inspeciona 100% das peças, funcionando independentemente do grau de atenção do operador. Segundo o autor podem ser classificados de acordo com a função, possuindo função de controlo ou de advertência. A função de controlo requer que seja cumprida uma ou mais das seguintes respostas: o equipamento abranda ou impede fisicamente a peça de continuar um processo manual, quando deteta

um defeito; não permite que o operador escolha como fazer uma determinada tarefa, obrigando a que seja feita da maneira correta; automaticamente exclui peças com defeito do fluxo produtivo. A função de advertência significa que o *poke-yoke* assinala, através de um alarme luminoso ou sonoro, a ocorrência de um defeito.

Assim, deve optar-se sempre que possível pela utilização de *poka-yokes* com função de controlo em vez de função de advertência, idealmente prevenindo o defeito de ocorrer. Segundo Plenert (2007), existem quatro níveis de qualidade de acordo com a Figura 5, sendo que normalmente as indústrias trabalham nos dois primeiros níveis, havendo inspeção e garantia de qualidade no cliente ou no final do processo produtivo.

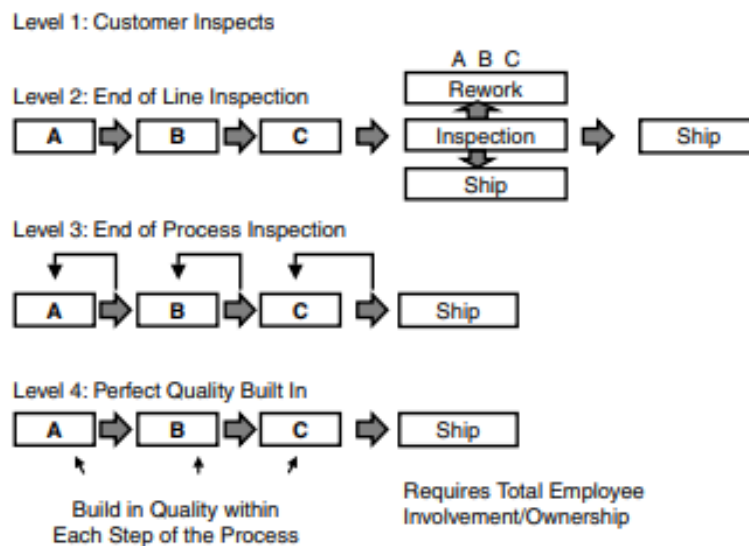


Figura 5 - Os quatro níveis de qualidade (Plenert, 2007)

Nos dois primeiros níveis de qualidade, são muitas vezes identificados desperdícios relacionados com a produção de peças que poderiam ter sido evitados se os defeitos tivessem sido identificados numa fase inicial do processo produtivo. A identificação tardia dos defeitos, pode levar a custos elevados de retrabalho ou sucata e insatisfação no cliente. O terceiro nível de qualidade, é o nível básico para qualquer sistema JIT (*Just-in-time*), em que a inspeção se torna parte do processo produtivo, ocorrendo no final de cada etapa do processo. O quarto nível de qualidade é o nível em que os sistemas *Poka-yoke* estão presentes, tornando inspeções desnecessárias. O objetivo do quarto nível é desenhar o processo produtivo de modo a que o mesmo elimine erros.

2.3.3 Standard Work

O *standard work*, ou trabalho normalizado, é uma condição básica para a prática da melhoria contínua segundo Ohno (1988). Segundo o modelo de Imai (1997), os standards devem refletir a maneira melhor, a mais fácil e a mais segura de realizar um determinado trabalho. O *standard work* deve ainda preservar o conhecimento e a experiência adquirida, seguindo sempre o que se considerou serem as melhores práticas. Do ponto de vista da melhoria contínua, os standards são muito importantes, uma vez que fornecem uma forma de medir o desempenho de um sistema e servem de base para a manutenção e melhoria de objetivos. Os standards desempenham ainda outras funções importantes, servindo de base para a formação dos trabalhadores, para definir auditorias e diagnósticos do processo e ainda como meio de prevenir erros e reduzir a variabilidade (Moore, 2007).

O primeiro objetivo do *standard work* é usar o mínimo número de trabalhadores para a produção. Isto é alcançado com alta produtividade, trabalhando de forma eficiente, sem nenhum desperdício de movimentos. Uma sequência de operações standard a ser realizada por cada trabalhador é essencial para atingir este objetivo. O segundo objetivo do *standard work* é alcançar um balanceamento entre todos os processos em termos de tempos produtivos. Desta forma, o conceito de tempo de ciclo deve estar integrado no *standard work*. O terceiro objetivo é que apenas a quantidade WIP seja qualificada como quantidade standard WIP, ou a mínima quantidade de material necessária para a execução das operações standard pelos operadores. Este standard ajuda a eliminar excessos de material entre processos.

Para atingir os três objetivos referidos anteriormente o *standard work* deve ser constituído por três elementos: tempo de ciclo, sequência de operações e quantidade de material em processo (Monden, 2011).

2.3.4 Técnica 5S

A ferramenta dos 5S é usada para estabelecer e manter um ambiente de qualidade numa organização. É basicamente um método para organizar o posto de trabalho no *shopfloor* ou no escritório, que indica o que guardar, onde guardar e como guardar o material e as ferramentas necessárias no local de trabalho. Baseia-se no princípio de que um bom ambiente de trabalho, motiva os trabalhadores para produzir produtos de qualidade, com poucos desperdícios, com grande produtividade e segurança (Plenert, 2007).

Este conceito não é apenas usado para melhorar o ambiente de trabalho, mas também para melhorar a consciência, pensamento e filosofia de trabalho. Os 5S instigam a um maior sentimento de responsabilidade dos colaboradores, atribuindo-lhes responsabilidade sobre os seus postos de trabalho.

O nome da ferramenta deriva de cinco palavras japonesas, sendo elas *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke*, que representam os cinco passos de uma abordagem estruturada, e que serão explicados de seguida, de acordo com Kiran (2017).

Seiri (Sort), é o primeiro passo e consiste em separar todas as ferramentas e materiais que são necessários, das que não são necessárias, para realizar o trabalho, mantendo apenas o que é essencial. Os materiais que não são essenciais devem ser descartados ou guardados noutra local.

Depois de decidir que materiais são essenciais para realizar determinada tarefa, é altura de proceder para o segundo passo, *Seiton (Set in order)*, que consiste em organizar os materiais e ferramentas, definindo o lugar específico de cada um, de modo a facilitar o trabalho. Para trabalhos de montagem manuais, por exemplo, os materiais e ferramentas devem ser dispostas de acordo com a sequência de operação.

O terceiro passo, *Seiso (Shine)*, baseia-se em manter a limpeza e organização do posto de trabalho diariamente. É o princípio básico que originou o *Total Productive Maintenance* e é, de certa forma, um regresso às práticas anteriores à revolução industrial, tornando o operador responsável pelas rotinas de manutenção básicas dos equipamentos. O operador é responsável não só pela qualidade do seu trabalho, mas também pelo funcionamento apropriado dos seus equipamentos e ferramentas.

O princípio do *Seiketsu (Standardize)*, o quarto passo, consiste na criação e introdução de standards na organização. Desta forma, com ajuda dos supervisores e dos responsáveis pelos 5S, toda a organização deve aderir à metodologia, identificando e organizando áreas de trabalho, armazéns e outras áreas segundo o standard definido. A organização deve ainda standardizar a comunicação, as identificações, instruções de trabalho, chamadas de atenção e documentação em geral, de modo a que seja de mais fácil interpretação e utilização para todos. Para que todos compreendam e sigam os standards definidos, deve haver formação, de forma a garantir que todos aprendam os conteúdos e a sua importância.

Por fim, o quinto passo, *Shitsuke (Sustain)*, significa disciplina e demonstra o compromisso em manter e praticar esta metodologia. Este passo implica eliminar maus hábitos e a prática e reconhecimento de bons hábitos. A responsabilidade por este passo deve ser repartida entre a gerência da empresa e os trabalhadores, sendo a gerência responsável por garantir que a mensagem dos 5S é transmitida, realizando auditorias regulares, e os trabalhadores, pela integração e manutenção dos standards.

Resumindo, pode concluir-se que os 5S são uma abordagem sistemática e racional para um ambiente de trabalho livre de desordem e seguro, com o objetivo de reduzir desperdícios e preparar o ambiente para futuras melhorias.

2.3.5 Gestão Visual

A gestão visual é uma ferramenta que pretende melhorar o desempenho de uma organização através de estímulos visuais. Estes estímulos visuais comunicam informação importante de forma rápida e eficiente, ajudando a manter o foco da organização nos seus objetivos (Steenkamp et al., 2017).

A gestão visual pode ser observada numa organização *Lean* de diferentes formas, como por exemplo através de marcações de corredores, sinais luminosos nos equipamentos ou quadros com o estado dos indicadores. Assim, a gestão visual aumenta a transparência dentro de uma organização, reduzindo os desperdícios dentro da mesma (Singh & Kumar, 2020).

A gestão visual é um ponto fulcral no *Lean Manufacturing* e contribui significativamente para o sucesso desta metodologia. Nas organizações *Lean*, especialmente as empresas da área de manufatura, existem reuniões diárias, em que se recorre a quadros onde a informação e indicadores importantes para a organização podem ser visualizados de uma forma simples e eficiente (Kurdve et al., 2019).

2.4 Indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho ou KPI (*Key Performance Indicators*) são uma ferramenta fundamental para a avaliação e acompanhamento da performance dos sistemas e processos produtivos. Através dos indicadores de desempenho é possível perceber que áreas estão a ter um desempenho adequado e que áreas necessitam de melhorias, permitindo focar esforços nas áreas mais críticas. Através dos indicadores de desempenho também é possível aferir a eficácia das ações de melhoria num processo ou sistema. Assim a definição e utilização de KPIs adequados, como ferramenta de avaliação do sistema produtivo, permite às empresas confiar nos métodos escolhidos para atingir os seus objetivos (Joppen et al., 2019).

2.4.1 Produtividade

A produtividade é uma medida de eficiência definida pela razão entre a produção e os recursos consumidos nessa mesma produção. Um dos recursos mais utilizados na avaliação e cálculo da produtividade em contexto industrial é a mão de obra. Desta forma, a produtividade é calculada através

da razão do número de artigos produzidos pelo número de horas de mão de obra necessárias para os produzir, representado através da seguinte fórmula:

$$\textit{Produtividade} = \frac{\textit{Produção diária}}{\textit{Tempo disponível} \times \textit{Número de operadores}}$$

2.4.2 Taxa de Produção

A taxa de produção é uma medida de desempenho que representa a cadência de produção de um determinado produto. Este indicador está relacionado com a velocidade a que determinado equipamento, posto de trabalho ou sistema processa os artigos. Obtém-se a taxa de produção de um determinado artigo através da relação entre o volume de produção e o tempo disponível:

$$\textit{Taxa de produção} = \frac{\textit{Volume diário}}{\textit{Tempo disponível}}$$

2.4.3 Eficácia Operacional (OE)

Um dos indicadores mais utilizados na indústria, e particularmente na indústria é o OE (*Operational efficiency*). OE relaciona o tempo estimado para produzir determinado produto com o tempo real de produção desse artigo.

$$OE = \frac{\textit{Tempo de ciclo} \times \textit{Produção diária}}{\textit{Tempo real}}$$

O objetivo é alcançar um OE de 100%, o que indica que o tempo de ciclo estimado coincide com o tempo com o tempo real de produção.

2.4.4 Eficiência

A eficiência é um indicador que mostra em termos percentuais a eficiência de uma linha de produção, relacionando o conteúdo de trabalho de um produto com o número de postos de trabalho de uma linha.

$$\textit{Eficiência} = \frac{\sum \textit{Tempos Ciclo da linha}}{\textit{Tempo de ciclo da linha} \times \textit{número de postos}} \times 100$$

A eficiência permite assim avaliar a utilização dos postos de trabalho de trabalho de uma determinada linha de produção.

2.4.5 Índice de Planura

O índice de planura é uma medida de desempenho que avalia a distribuição do conteúdo de trabalho numa linha de produção. A situação desejada é um índice de planura igual a zero, o que representa uma correta e uniforme distribuição do conteúdo de trabalho apresentando todos os postos de uma linha o mesmo tempo de ciclo (Scholl, 1995).

$$\text{Índice de planura} = \sqrt{\sum(\text{Tempo Ciclo do sistema} \times \text{Tempo Ciclo do sistema})^2}$$

2.4.6 First Time Quality

O FTQ (*First Time Quality*) é um dos indicadores mais importantes do processo produtivo. É uma medida associada à qualidade, que relaciona o número de produtos rejeitados no processo com a quantidade de produtos produzidos.

$$FTQ = \frac{\text{Produção com defeitos}}{\text{Produção total}} \times 100$$

2.4.7 Capacidade de Produção

A capacidade de produção de um sistema produtivo representa a quantidade máxima de produtos que o processo ou sistema é capaz de processar num determinado período de tempo. O conceito de cálculo de capacidade pode ser aprofundado, e calculado de forma mais específica de acordo com o que se pretende obter.

Capacidade instalada: a capacidade instalada representa a capacidade máxima que uma empresa possui caso trabalhe ininterruptamente sem qualquer tipo de paragens.

Capacidade disponível: a capacidade disponível representa a capacidade máxima que uma empresa possui tendo em conta as horas trabalhadas por dia:

$$\text{Capacidade disponível} = \text{Tempo por turno} \times \text{Número de turnos}$$

Capacidade efetiva: a capacidade efetiva representa a capacidade disponível sem as paragens planeadas.

Capacidade realizada: a capacidade realizada representa a capacidade efetiva sem as paragens não planeadas, portanto corresponde ao que realmente foi produzido.

Capacidade esperada: A capacidade esperada representa o tempo necessário para produzir um determinado volume de produto.

$$\text{Capacidade esperada} = \text{Tempo de ciclo} \times \text{Produção diária}$$

Um indicador adicional importante na análise da capacidade é a utilização de um sistema, que relaciona a capacidade esperada com a capacidade realizada:

$$Utilização = \frac{Capacidade\ esperada}{Capacidade\ realizada} \times 100$$

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo é apresentada a empresa onde foi realizado o trabalho em que se baseia esta dissertação, a APTIV *Automotive Systems* – Portugal S.A. Será apresentado o grupo Aptiv a nível global, seguindo-se a apresentação mais pormenorizada da unidade de produção de Braga. Relativamente à unidade de produção de Braga, será apresentado um contexto histórico, a missão visão e valores da empresa, os produtos e principais clientes, os processos produtivos com mais relevância para a dissertação e a forma como é gerido o planeamento e fluxo de informação.

3.1 Grupo APTIV

A multinacional APTIV nasceu no final de 2017, resultado da separação das duas grandes áreas de negócio do grupo *Delphi Automotive Systems*. Da separação do grupo nasceram a Delphi Technologies PLC que se dedica ao segmento de *Powertrain* e a APTIV PLC, que se dedica às áreas de *Advanced Safety & User Experience* e *Signal & Power Solution* (Figura 6).

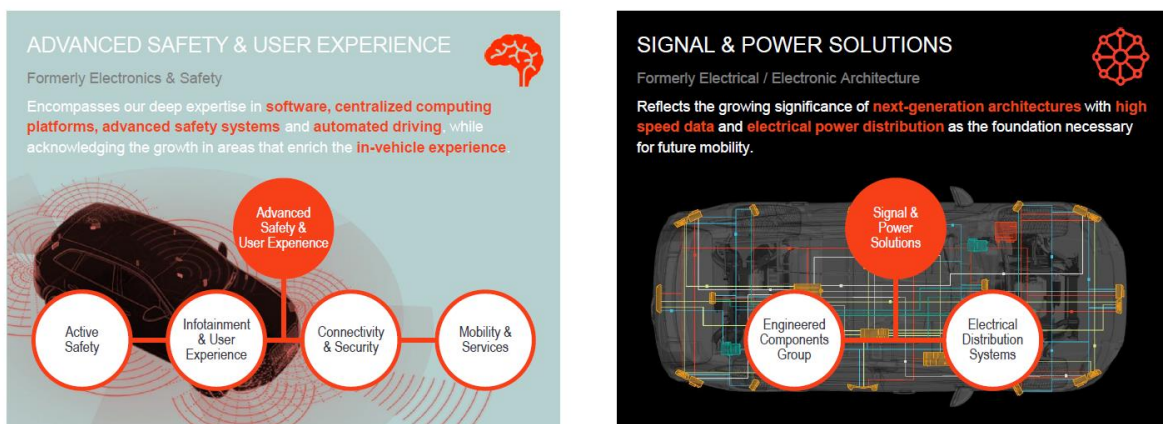


Figura 6 - Áreas de negócio da Aptiv

A APTIV é uma empresa líder tecnológica global que desenvolve soluções de conectividade, autonomia e mobilidade avançadas para o ramo automóvel. Os pontos fortes estão relacionados com a distribuição de energia e sinais, plataformas de computação centralizadas, segurança avançada e sistemas de condução autónoma, sistemas de infotainment e experiência do utilizador, conectividade e eletrificação de veículos e serviços de dados. Sediada em Dublin, Irlanda, a Aptiv tem cerca de 147000 colaboradores distribuídos por 45 países em 14 centros técnicos e 109 unidades de produção.

3.2 Aptiv Braga

A história da fábrica da APTIV de Braga começa em 1965 com a sua fundação, com o nome de Grundig. A sua atividade incluía a produção de rádios e produtos de áudio e Hi-Fi, televisores, telefones sem fios entre outros. Em 1973 começa a produção de autorrádios e posteriormente, em 1990 torna-se na unidade de negócios “*Grundig Car Intermedia Systems*” dedicada ao ramo automóvel. Em 2003 a Delphi adquire a unidade de Braga e muda a sua descrição para *Delphi Automotive systems*-Portugal, S.A. – Fábrica de Braga.

Entretanto, a carteira de produtos de tecnologia móvel multimédia da Delphi desenvolveu-se significativamente, colocando os produtos e as suas características a uma grande distância do que eram nas suas origens.

No final de 2017 a *Delphi Automotive* iniciou a cisão em duas empresas, em função da área de negócio, cisão essa que ficaria concluída em março de 2018. Assim, APTIV seria a designação para a área de Eletrónica e Segurança bem como de Arquitetura Elétrica e Eletrónica.

3.3 Identificação e localização

A APTIV Braga conta atualmente com cerca de 900 colaboradores e as suas instalações com cerca de 42000 m² estão localizadas na Rua Max Grundig, sendo constituídas por quatro edifícios distintos, conforme é visível na imagem aérea apresentada na Figura 7.



Figura 7 - Vista aérea da fábrica da Aptiv Braga

No Edifício 1 centra-se a maior parte da área produtiva da fábrica, assim como a maioria dos serviços administrativos, escritórios e áreas sociais. Relativamente à área produtiva, o edifício 1 contempla as áreas de SMT e CBA, assim como parte da área de montagem final referente aos produtos com maiores volumes.

No Edifício 2 existem duas áreas produtivas. Uma das áreas produtivas é dedicada à produção e montagem de peças plásticas, que mais tarde são montadas nos produtos. A outra área produtiva é dedicada a parte da montagem final de aparelhos eletrónicos, principalmente produtos mais antigos, com volumes consideravelmente menores.

O Edifício 3 é um edifício que funciona como apoio a atividades logísticas. Grande parte da área é dedicada ao armazenamento de embalagens, montagem de embalagens de cartão, limpeza de embalagens de cliente e embalagens internas. Possui ainda áreas para equipamentos obsoletos e para armazenamento de matéria prima para a área dos plásticos.

No edifício 4 está situado o centro técnico, que trabalha no desenvolvimento de novos produtos para os clientes da Aptiv, dedicando-se também a melhorias e mudanças no design de produtos existentes tendo em conta novas especificações e requisitos ou melhorias económicas e de qualidade. O edifício possui ainda um laboratório de protótipos e salas de formação.

Na Figura 8 podemos observar um resumo da informação mais relevante relativa à fábrica da Aptiv Braga.

Site Braga: One page Plant Description

Site Description

Location:

Site Revenue (2018 - \$M - DEG)	\$605M
Site Floorspace (total - sqm)	32.921
Mfg Floorspace (sqm)	10.600
Site Hrly Emps (Hrly Emps Dir/Indirect)	771
Site Total Emps (Mfg/Support, Dir/Indirect)	916
# Customers supported	51
# Ship to Destinations	74
# End Model part numbers	394
# Incoming part numbers	3.451



Processes Supported

SMT	Plastic Molding	Plastic Finishing	Final Assy & Test	Technical Center
X	X	X	X	X

Product Lines Supported

Infotainment & User Experience	Connectivity & Security	Active Safety	Mobility Services
X	X	X	-

Site Features

- Technical center supporting Infotainment and User Experience
- Tool shop for internal usage
- Waste treatment facility
- Sprinklers with 825 m3 Water tank
- Chillers; Air compressors; Nitrogen
- On site Medical services
- On-site canteen



Figura 8 - Descrição da fábrica "one page"

3.4 Produtos e Principais Clientes

O portfólio atual de produtos da empresa é constituído principalmente por sistemas de entretenimento, displays e sistemas de navegação, tendo como objetivo a curto prazo, a introdução de novas gamas de produtos, tais como controladores eletrónicos e sistemas de segurança avançados, diversificando assim a gama de produtos ao serviço das grandes marcas de referência da indústria automóvel. A Figura 9 mostra alguns desses produtos.



Figura 9 - Produtos produzidos na Aptiv Braga

Entre os principais clientes do grupo estão o Grupo Volkswagen (Volkswagen, Audi, Porsche entre outros), grupo PSA (Peugeot, Citroen, Opel), a FCA (Fiat, Chrysler, Ferrari), Volvo Trucks e Volvo Cars, representados na Figura 10.

Customer	Product Line	Customer Portfolio
AUDI	Infotainment	
VW	Infotainment	
PORSCHE BENTLEY	Infotainment User Experience	
PSA OPEL 	Connectivity & Security User Experience Active Safety	
FIAT GROUP	Infotainment User Experience	
VOLVO TRUCK	Infotainment User Experience	
VOLVO CARS	Infotainment User Experience	
GM	Infotainment User Experience	

Figura 10 - Principais Clientes da Aptiv Braga

3.5 Missão, Visão e Valores da Empresa

A Aptiv tem como missão ser o líder global em sistemas para automóveis e similares, trabalhando em conjunto com os fornecedores e todas as partes interessadas, de forma a conseguir fornecer soluções de valor acrescentado para os clientes e acionistas.

A sua visão passa por ser reconhecido pelos clientes como o melhor fornecedor em termos de fiabilidade e qualidade. Os valores da empresa estão assentes na premissa de fazer sempre a coisa certa, da forma certa (Figura 11).



Figura 11 - Valores da Aptiv

Competir para vencer, agir com celeridade, ser uma equipa, paixão pelos resultados, pensar como um proprietário e operar com respeito são os valores que estão presentes na cultura da empresa.

3.6 Fluxo e Processos Produtivos

A APTIV Braga possui, como referido anteriormente, dois edifícios com unidades produtivas sendo que o edifício 1 (APU1) está dedicado à produção de componentes eletrónicos e o edifício 2 (APU2) está dedicado principalmente à produção de componentes plásticos possuindo ainda o armazém principal.

Num passado recente houve necessidade de instalar parte da produção eletrónica no edifício 2, de modo a libertar espaço para a implementação de novos projetos, alguns dos quais alvo desta dissertação. Desta forma observam-se diversos fluxos logísticos entre os dois Edifícios como pode ser observado na Figura 12.



Figura 12 - Fluxos logísticos entre edifício 1 e 2

A fábrica de Braga trabalha em laboração contínua com diversos turnos de produção que são muitas vezes ajustados de acordo com volumes de produção, nomeadamente através da introdução de turnos rotativos e concentrados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Horários dos turnos de Produção da Aptiv Braga

		Edifício 1		
		SMT	CBA	MF
Turno 1			6h00 - 14h30	6h00 - 14h30
Turno 2			14h30 - 23h00	14h30 - 23h00
Turno 3			23h00 - 6h00	23h00 - 6h00
Rotativos	8:00 às 16:00 16:00 à 00:00 0:00 às 8:00			
Concentrados (Sem paragem aos Fins de Semana)	8h00 - 20h00 20h00 - 8h00			

		Edifício 2		
		Injeção	Pintura	MF
Turno 1	6h00 - 14h30		6h00 - 14h30	6h00 - 14h30
Turno 2	14h30 - 23h00		14h30 - 23h00	
Turno 3	23h00 - 6h00			

De seguida serão apresentadas as diversas áreas de produção e os principais processos produtivos associados a essas áreas.

3.6.1 Plásticos

A área dos plásticos no Edifício 2 é responsável pela produção de grande parte dos componentes plásticos utilizados na montagem final dos produtos produzidos pela APTIV Braga. Alguns dos componentes têm apenas função estrutural, enquanto outros possuem também uma função estética. A

Área dos plásticos encontra-se dividida de acordo com a Figura 13 em três áreas produtivas: Injeção, Pintura e montagem final.

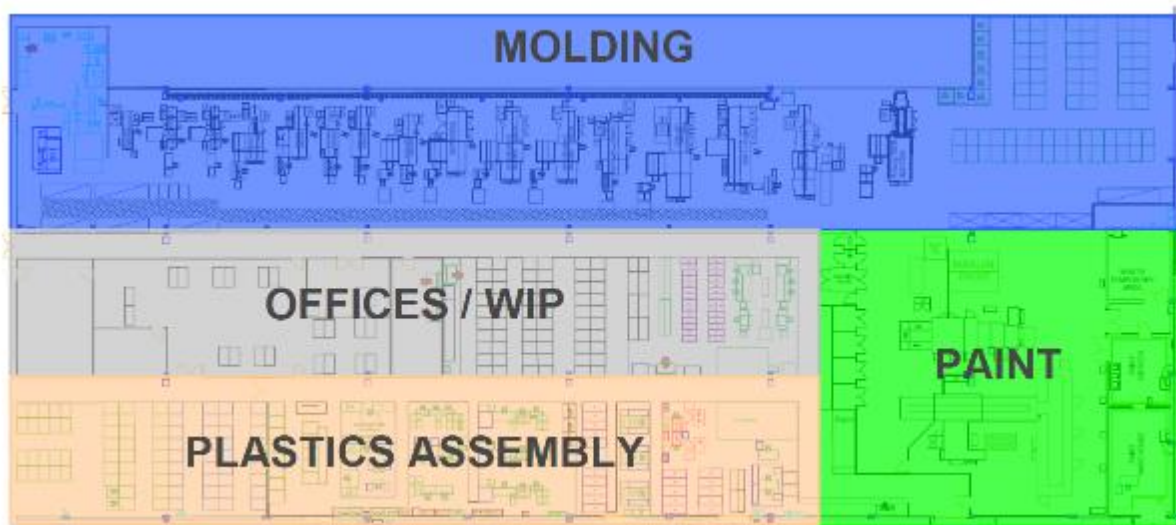


Figura 13 - Área de produção de plásticos

O fluxo produtivo encontra-se representado na Figura 14, e como pode ser observado, inicia-se com a injeção das peças. De seguida as peças vão para a área da pintura, seguindo para a área da montagem final onde são submetidas a diversos processos, como *Heat-stake*, laser, montagem e inspeção final. A partir daqui as peças prontas para montagem nos aparelhos são armazenadas e abastecidas ao Edifício 1 consoante as necessidades.

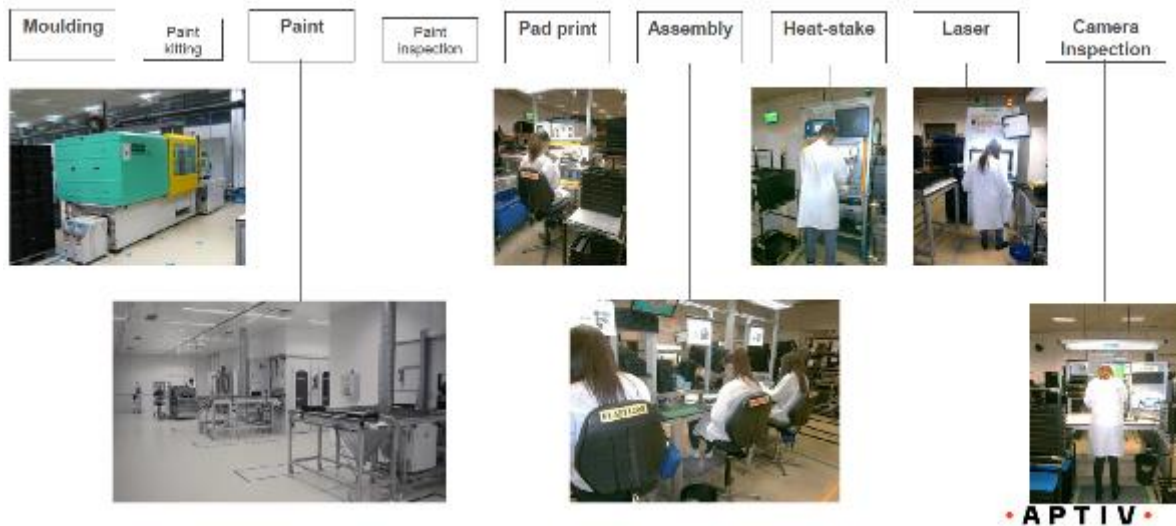


Figura 14 - Fluxo produtivo da área de plásticos

3.6.2 Área Eletrónica

A área eletrónica maioritariamente concentrada no Edifício 1, encontra-se dividida em três áreas produtivas, que serão apresentadas de seguida.

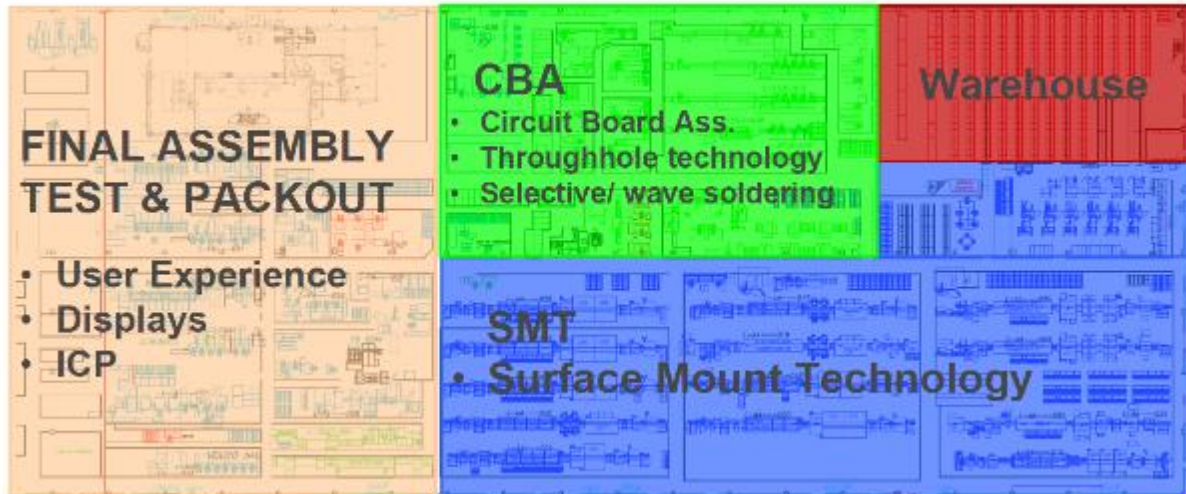


Figura 15 - Área de produção eletrônica

3.6.2.1 SMT

A área de SMT (*Surface Mount Technology*) fica situada na sua totalidade no Edifício 1. O processo produtivo inicia-se com o *offline programming*, que consiste na programação de IC's (*Integrated circuits*) que serão posteriormente montados nos PCB's (*Printed Circuit Boards*), e com o *laser marking*, que consiste na gravação de códigos 2d nas placas, que garantem a rastreabilidade, histórico e identificação do produto a produzir.

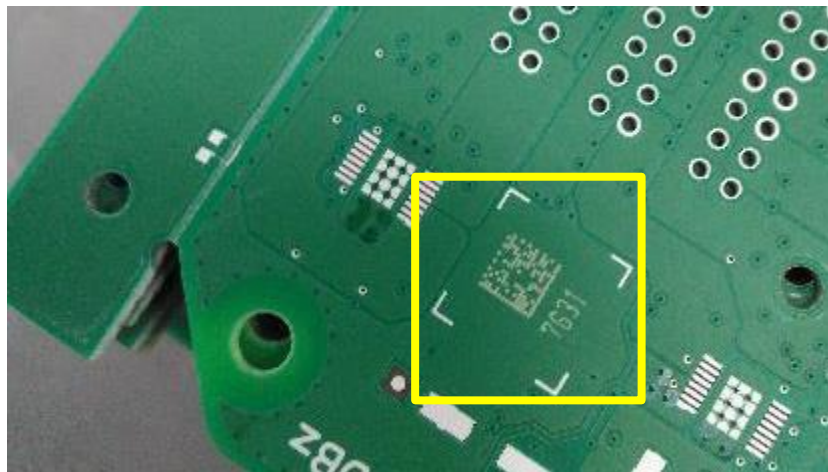


Figura 16 - Código de identificação gravado a laser

De seguida os PCB's seguem caminho para as linhas de montagem automática de componentes. As placas são inseridas no início da linha e é colocada pasta de solda de acordo com o produto em questão, sendo de seguida inspeccionadas. A seguir as máquinas de inserção automática (*Pick & Place*), inserem os componentes nos PCB's, sendo que cada linha tem capacidade de inserir em média mais de 1000 componentes por minuto nos PCB's. Depois de colocados os componentes, as placas seguem para a estufa onde é realizada a soldadura, de modo a fixar e conectar os componentes à placa. No final da linha os PCB's são inspeccionados com sistemas de visão automáticos 3D (AOI), para garantir que os

componentes estão presentes e verificar a soldadura. Por norma as placas possuem componentes de ambos os lados, sendo por isso necessário realizar duas fases deste processo de montagem automático. Após a montagem realizada nas máquinas automáticas as placas seguem para linhas de inspeção por Raio-X para verificar uma correta soldadura em componentes BGA (*Ball Grid Array*). Estes componentes são extremamente sensíveis e não é possível realizar a inspeção apenas com recurso às AOI, uma vez que a soldadura ocorre entre o componente e a placa.

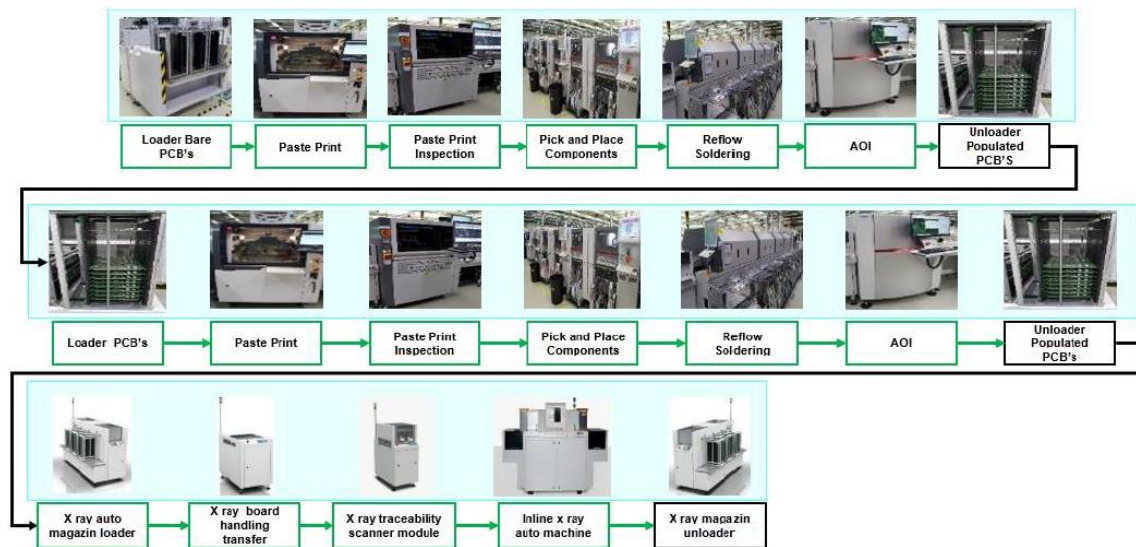


Figura 17 - Processos produtivos da área de SMT

3.6.2.2 CBA

A área de CBA fica localizada no edifício 1 e engloba todas as operações subsequentes a SMT, de modo a preparar as placas para a montagem final dos produtos. Desta forma, depois de SMT as placas necessitam de ser cortadas, quer porque possuem rebordos usados para apoiar as placas durante a montagem automática, quer porque algumas placas são montadas em conjuntos (*arrays*) e necessitam de ser separadas.

Para o corte das placas são usados os processos de *Blade singulation* e *Punching*, para produtos mais antigos, e *Milling* para produtos mais recentes e com exigências superiores. Depois de do processo de corte as placas são colocadas em tabuleiros dedicados para o produto. Nesta área ocorre ainda a montagem manual de componentes na placa que por questões técnicas ou economicamente vantajosas não são inseridos de forma automática, seguindo-se os processos de *clinchng* (fixação mecânica) e o processo de soldadura por onda. Estas montagem de componentes são realizadas em linhas de soldadura por onda, tal como pode ser observado na Figura 18.

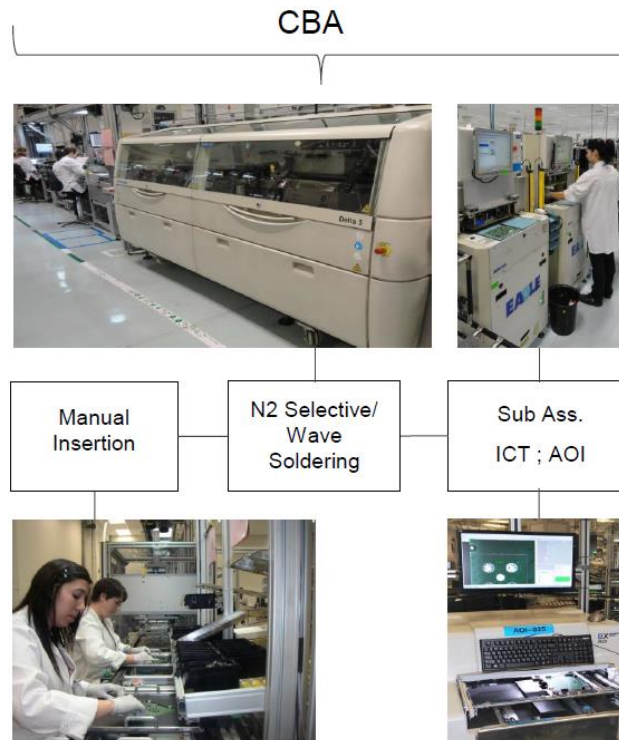


Figura 18 - Processos produtivos da área de CBA

Depois da soldadura por onda, as placas são inspecionadas visualmente pelo operador e posteriormente com recurso sistemas de inspeção automáticos (AOI), para garantir que a soldadura foi efetuada corretamente e sem defeitos. Além dos processos mencionados, existe ainda uma área de *sub-assemblys* onde são montados componentes metálicos nas placas com recurso a *clinching* e aparafusamento.

Em alguns produtos, com maior nível de exigência, as placas seguem para máquinas de *coating*, onde é aplicado um adesivo com o objetivo de aumentar a durabilidade dos produtos e proteger os mesmos das condições ambientais. Ainda nesta área as placas são testadas eletricamente nos testes ICT (*In Circuit Test*), para testar o correto funcionamento e a presença de componentes. Depois destes processos, as placas ficam prontas para serem montadas nos produtos, seguindo para a área da montagem final.

3.6.2.3 Montagem Final

A área de montagem final possui diversas linhas e células de montagem dedicadas a famílias de produtos e dimensionadas de acordo com as respetivas necessidades em termos de capacidade. Nesta área ocorrem as montagens dos PCB's em peças metálicas e peças plásticas, principalmente através do processo de aparafusamento manual ou automático, dando origem aos produtos finais. Existem ainda diversas células para executar submontagens, como por exemplo, a dispensação de pastas térmicas nas peças metálicas que depois são abastecidas às linhas de montagem final.

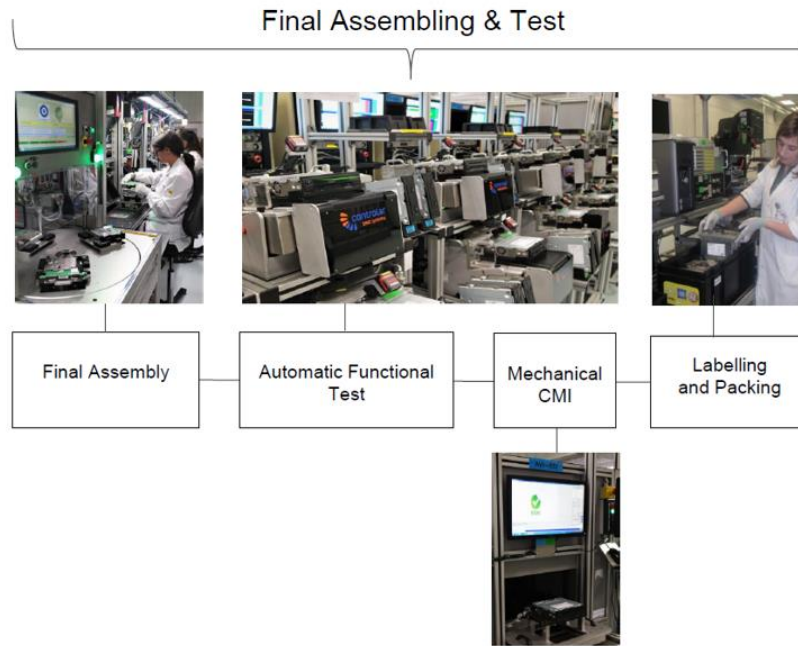


Figura 19 - Processos produtivos da área da montagem final

No final da montagem são realizados testes funcionais e testes de visão, para garantir que todas as especificações dos clientes em relação a todos os produtos produzidos na fábrica são cumpridas. Por fim é realizado o processo de embalagem dos aparelhos.

3.7 Planeamento da Produção e Fluxo de informação

O planeamento da produção na APTIV pode ser dividido em três fases, caracterizadas por horizontes temporais distintos. O plano estratégico é projetado num horizonte de 5 anos, o plano operacional é definido para um ano e por fim o plano tático, que é realizado diariamente.

O plano estratégico é desenvolvido pelo departamento de engenharia em conjunto com a engenharia internacional da APTIV e contempla a análise de capacidades e volumes existentes, assim como a introdução de novos projetos e volumes dos clientes. Este trabalho visa enquadrar as necessidades dos clientes no futuro da empresa, perspetivando os investimentos necessários para garantir as condições de produção.

O plano operacional é estruturado pelo departamento de planeamento e controlo logístico. Este plano é elaborado com as encomendas já existentes e com previsões de vendas dos clientes. O plano elaborado com auxílio do SAP é atualizado regularmente com as necessidades semanais dos clientes, de forma a ajustar os planos de produção e identificar as necessidades.

O plano tático é realizado diariamente pela interação entre o PC&L e a Produção. Este plano define a sequência com que se processam as ordens de produção, tendo a necessidade de ser flexível, para contornar quaisquer eventualidades que possam surgir ao longo do dia.

São usados dois tipos de ordens de produção na fábrica, os manifestos e os *kanbans*. Os processos em que o material consumido é igual para todos os produtos utilizam *kanbans* e os processos que utilizam material diversificado utilizam manifestos.

4. INTRODUÇÃO DE NOVOS PRODUTOS

O período em que se foca este trabalho na APTIV teve uma intensa atividade relacionada com a implementação de novos projetos. Foi neste contexto que surgiu a oportunidade de desenvolver a dissertação. Foi abordada a introdução de dois produtos novos, de dois projetos de transferência de sistemas produtivos que estavam em funcionamento noutras fábricas da APTIV e foram transferidos para a fábrica de Braga, e um produto novo que surgiu a partir de uma alteração de base tecnológica num produto existente.

4.1 Atividades de preparação para a introdução de produtos

A introdução de produtos englobou uma série de atividades realizadas no contexto desta dissertação:

- Trabalhar em atividades de design dos sistemas produtivos para novos projetos, incluindo análise de dados de investimento, sendo principal ligação aos LME's – *Lead Manufacturing Engineers*;
- Projetar e implementar novas linhas e locais de trabalho para novos projetos, atendendo a PFMEAS – *Process Failure Mode and Effects Analysis*, planos de controlo e especificações do cliente;
- Design de linhas de montagem, incluindo o balanceamento do conteúdo de trabalho nas diversas áreas;
- Responsabilidade por todos os novos projetos até ao *Start Of Production* (SOP);
- Apoiar todas as produções de protótipos, para que todos os novos projetos realizem os marcos imprescindíveis definidos pela APTIV;
- Apoiar uma previsão correta das despesas de capital para os projetos envolvidos em estreita colaboração com os LME's;
- Gerir o desenvolvimento de novas ferramentas (dispositivos elétricos, sistemas à prova de erro, embalagens e outros) que sejam capazes e adequadas para ambientes de produção em massa;
- Executar e analisar cálculos de capacidade;
- Implementar ações de melhoria nos novos projetos e aplicá-las a projetos existentes;
- Criar e manter a documentação (procedimentos, instruções de trabalho e outros) de acordo com o sistema operacional da Empresa.

O tema principal desta dissertação está assim relacionado com a necessidade da criação e dimensionamento de sistemas produtivos para produtos novos, adaptar linhas de produção atuais para novos desafios de produção e implementar melhorias na implementação de projetos com um sistema produtivo já desenvolvidos noutras fábricas do grupo.

Os clientes e nomes dos produtos não serão revelados por motivos de confidencialidade para a empresa. Assim, os produtos serão denominados por letras.

4.2 Introdução de novos Produtos

No ramo automóvel quando um determinado cliente necessita de um determinado produto, lança um concurso onde várias empresas são convidadas a apresentar propostas para o produto. As empresas convidadas apresentam a proposta segundo as especificações técnicas do cliente, incluindo elementos relativos ao design, custos e processos produtivos. O fornecedor é geralmente escolhido tendo em conta a vertente económica e o nível de qualidade e maturidade da empresa.

Posteriormente, depois do concurso ser ganho, uma série de workshops é realizada, para definir o processo produtivo e o próprio produto com mais detalhe, incluindo as *lessons learned* de outros projetos. Nestes workshops participam elementos dos centros tecnológicos, ligados à engenharia de produto e aos requisitos e comunicação com os clientes, e elementos da fábrica, ligados à engenharia de processo, produção, qualidade e logística. O objetivo é garantir que o conhecimento é transmitido a toda a equipa e usar toda a experiência das pessoas, para tornar o processo produtivo robusto e economicamente vantajoso, havendo desde o início um grande foco na redução dos desperdícios, quer económicos, quer de qualidade. Nas secções seguintes é descrito o processo de introdução de dois novos produtos, designados “A” e “B” para garantir a confidencialidade dos clientes.

4.2.1 Produto “A”

Para explicar o lançamento em produção de novos produtos seguir-se á uma metodologia que consiste em cinco etapas: 1) introdução; 2) análise do produto; 3) Definição do processo e do dimensionamento do sistema produtivo; 4) análise das pré-séries e melhorias e 5) avaliação do desempenho do sistema produtivo. Estas etapas são detalhadas de seguida.

4.1.1.1 Introdução

O produto “A” é um sistema principal de controlo de *infotainment*, com uma grande diversidade de funções importantes no conforto, entretenimento, segurança e funcionalidade dos veículos e vai equipar

toda a gama média e alta do cliente. O produto “A” é exclusivamente fabricado na fábrica de Braga, sendo um produto tecnologicamente avançado. O trabalho de implementação deste produto seguiu o processo de implementação de um novo produto descrito anteriormente.

4.1.1.2 Análise do produto

O produto “A” é, de forma simplista, constituído por oito componentes, sendo que possui dois PCB’s (*Tuner PCB* e *Main PCB*), com componentes montados na área de SMT, um dissipador (*Heatsink*) com pasta térmica, uma ventoinha (*fan*), duas buchas plásticas, uma base e uma tampa metálicas. A perspetiva explodida do produto é apresentada na Figura 20.

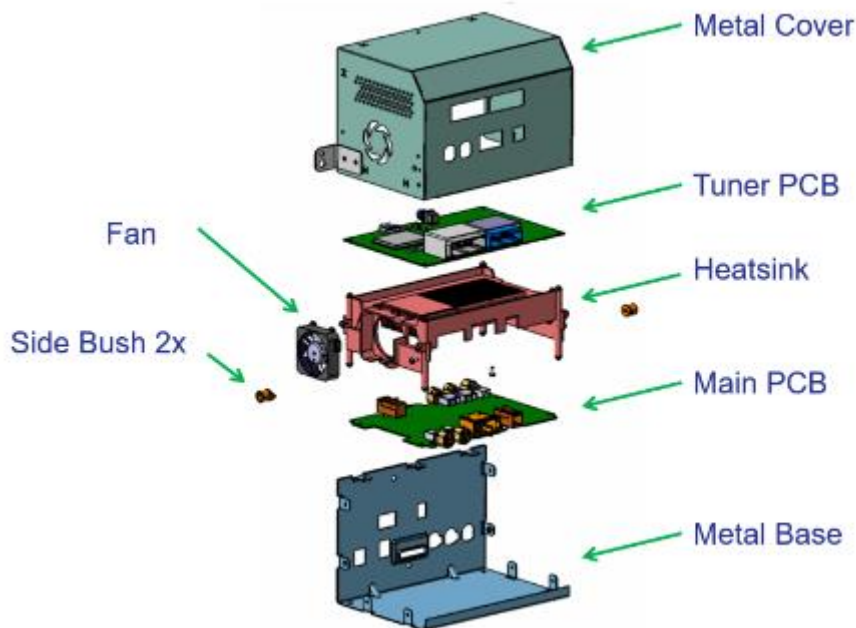


Figura 20 - Vista explodida do produto “A”

O produto “A” possui diversas variantes, que apenas se diferenciam ao nível dos PCB’s, sendo por isso, diferenças irrelevantes no dimensionamento do processo produtivo.

4.1.1.3 Definição do processo produtivo e dimensionamento do sistema produtivo

Nesta secção é detalhado o processo produtivo do produto e a forma como foi implementado em cada uma das áreas da fábrica, com especial foco na área da montagem final. O processo de implementação como já anteriormente referido incorpora o conhecimento e a participação de todos os departamentos e equipas de engenharia, especialistas em cada um dos processos produtivos. O resumo das diferentes fases, que serão aprofundadas mais à frente, está representado na Figura 21.

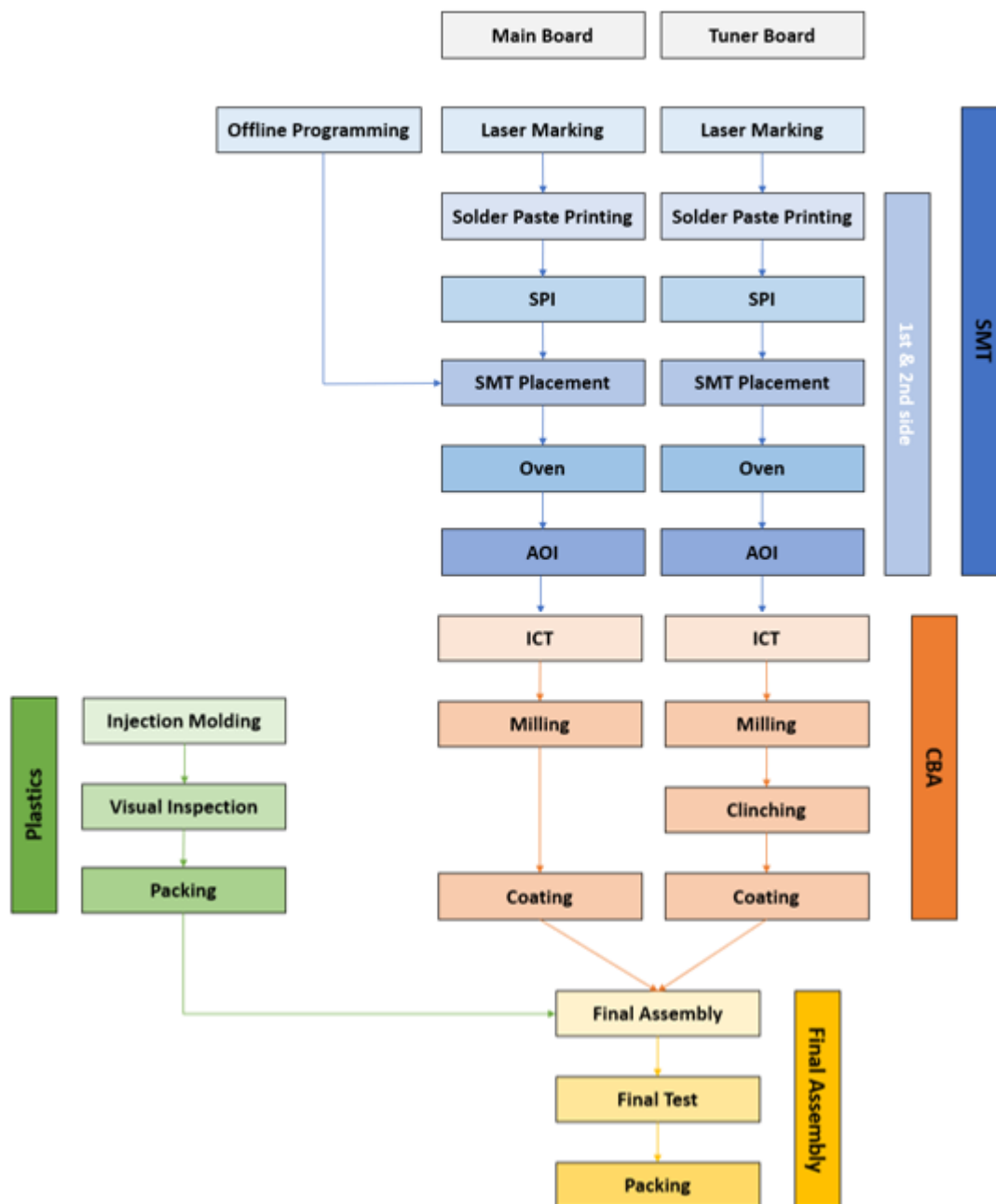


Figura 21 - Processo produtivo do produto A

Para iniciar o dimensionamento do sistema produtivo, começou-se por analisar os volumes pretendidos pelo cliente, para definir o *Takt Time* do produto. São considerados como standard para os cálculos de capacidade 240 dias de produção por ano. O tempo disponível para produção por turno é de 457 minutos. Mais pormenores relativos ao cálculo do *Takt Time* estão representados no apêndice 1.

Os volumes por ano, assim como o cálculo do *Takt time* e do *Design Cycle Time* são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Volumes e tempos do produto A

Ano	Volume	Dias de produção calendarizados	Procura diária	Takt Time (Seg)			Design Cycle Time (OE=95%)
				1 turno	2 turnos	3 turnos	
2019	3366	240	14	1955,1	3910,2	5865,2	
2020	63746	240	266	103,2	206,5	309,7	
2021	137126	240	571	48,0	96,0	144,0	
2022	422920	240	1762	15,6	31,1	46,7	
2023	567356	240	2364	11,6	23,2	34,8	33,1
2024	505159	240	2105	13,0	26,1	39,1	

Como já foi referido, a fábrica trabalha por norma em três turnos, cinco dias por semana, o que permite reduzir o investimento em equipamento e aproveitar da melhor forma a capacidade produtiva da fábrica. Da análise dos volumes e da resultante procura diária obteve-se um *Takt Time* de 34,8 segundos e um correspondente *Design Cycle Time* de 33 segundos que irá ser considerado no dimensionamento do sistema produtivo, atendendo à procura diária estimada para 2023.

No âmbito desta dissertação, o foco estará em dimensionar os processos dedicados aos produtos, sendo que, os processos partilhados por vários produtos são alvo de um cálculo de capacidades conjunto que não será abordado.

De seguida irá apresentar-se o trabalho realizado em cada uma das áreas produtivas da fábrica para a o lançamento em produção do Produto A.

Área – Plásticos

Como referido anteriormente, a APTIV Braga tem como vantagem competitiva a possibilidade de produzir diretamente as peças de plástico dentro de portas. Assim, o produto "A" contém uma peça de plástico, a bucha, que irá ser produzida na fábrica de Braga, na área dos plásticos. A peça em questão está representada na Figura 22.



Figura 22- Peça plástica do produto "A"

Esta peça é fabricada através do processo de injeção, sendo que para a sua implementação é necessário a projeção e produção de um molde para a máquina de injeção. Depois de injetada a peça é sujeita a uma inspeção visual para efeitos de controlo de qualidade. De seguida a peça é armazenada na área

dos plásticos havendo por norma um dia de produção em stock entre a área dos plásticos (Edifício 2) e a área da montagem final (Edifício 1), onde esta peça será consumida. Na Figura 23 está exemplificado o fluxograma do processo relacionado com a área dos plásticos para produzir o componente bucha.

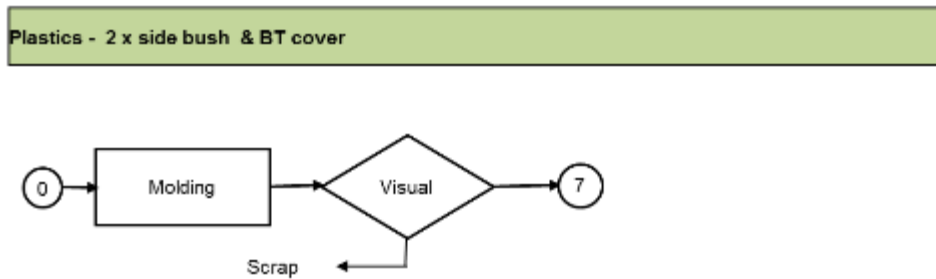


Figura 23 - Fluxo produtivo do produto "A" na área dos plásticos

Área - SMT

Como referido, o produto A é constituído por duas placas, a *Main Board* e *Tuner Board* que seguem ambas o mesmo processo na área de SMT. O processo produtivo inicia com a programação *offline* de componentes dos PCB's com os respetivos *softwares* do produto e pela marcação a laser, processo onde são gravados os códigos que permitem a identificação e rastreabilidade das placas ao longo de todos os processos. A Figura 24 mostra o fluxo destas placas nesta área.

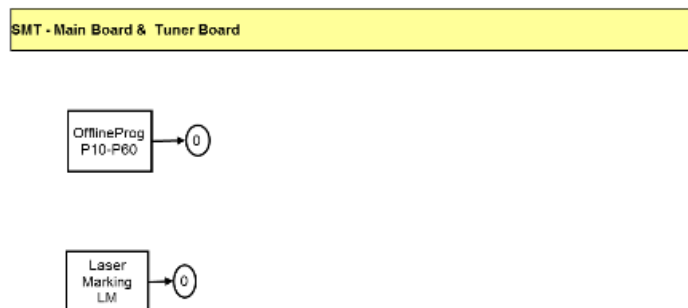


Figura 24 - Fluxo produtivo do produto "A" na área SMT (1)

Depois da gravação a laser, as placas são inseridas nas linhas de montagem automática onde são colocados e soldados os componentes, e inspecionados através de equipamentos de visão automática. Na Figura 25 é apresentado o processo de produção na área de SMT.

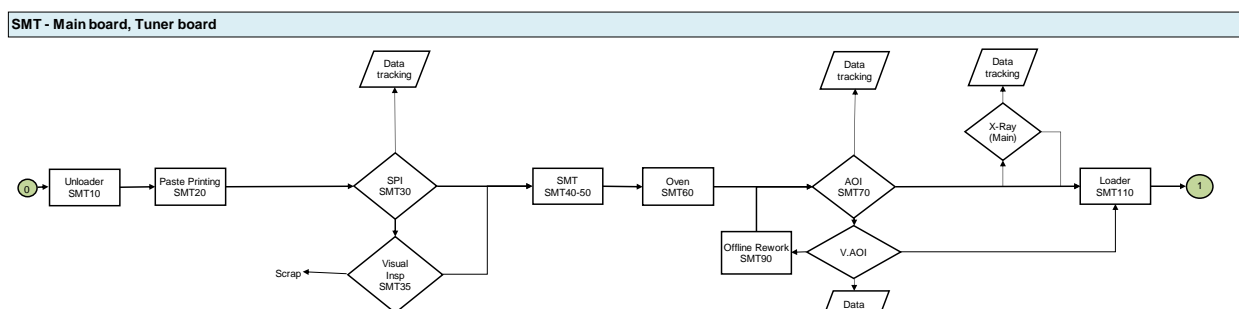


Figura 25 - Fluxo produtivo do produto "A" na área SMT (2)

A implementação do processo é realizada em conjunto com a equipa de engenharia de SMT da fábrica. De forma generalista as principais atividades estão relacionadas com aquisição de telas que são específicas de cada PCB e que são usadas para colocação de pasta de solda nos sítios definidos para posteriormente soldar os componentes; aquisição dos *feeders* para componentes de modo a abastecer as máquinas de colocação de componentes; aquisição e implementação das *nozzles* específicas para possibilitar às máquinas pegar e colocar os componentes; programação dos diversos equipamentos da linha para possibilitar a produção destes PCB's. O produto "A" é um dos primeiros da fábrica de Braga com a particularidade de ter todos os componentes inseridos nos PCB's através deste processo, não tendo por isso o processo de soldadura por onda.

Área – CBA

Nesta área os PCB's são inicialmente sujeitos a um *In circuit Test* (ICT), de forma a testar que os componentes foram montados corretamente em SMT. De seguida os PCB's são fresados para remover os bordos das placas. Para completar a montagem da placa *tuner* é necessário fixar duas blindagens por *clinch* através de um dispositivo concebido para o efeito (Figura 26). As blindagens têm como objetivo proteger os conectores e conceber mais estabilidade ao produto.

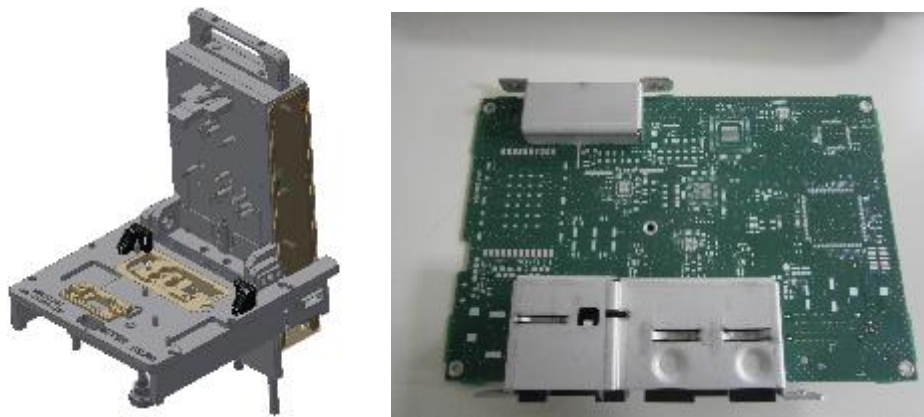


Figura 26 - Dispositivo de clinch e placa com os componentes metálicos após o clinch

Por fim, as placas são sujeitas a um processo de aplicação de *coating* de forma a proteger os componentes eletrónicos e aumentar a durabilidade dos mesmos. Para o processo de *coating* foi desenvolvido uma linha automática que também servirá para produtos futuros do mesmo cliente (Figura 27).

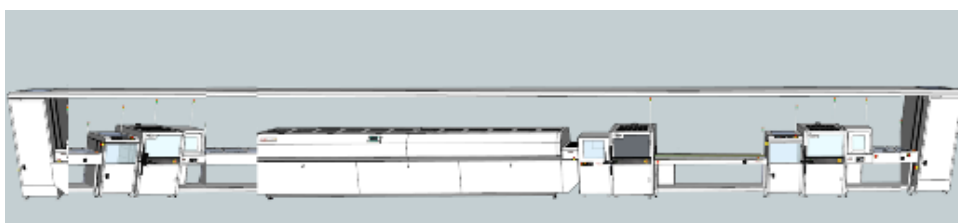


Figura 27 - Conceito de linha de coating para o produto "A"

Desta forma termina a montagem das placas, ficando as mesmas prontas para seguirem para a área da montagem final. O fluxo produtivo do produto "A" na área da montagem final pode ser observado na Figura 28.

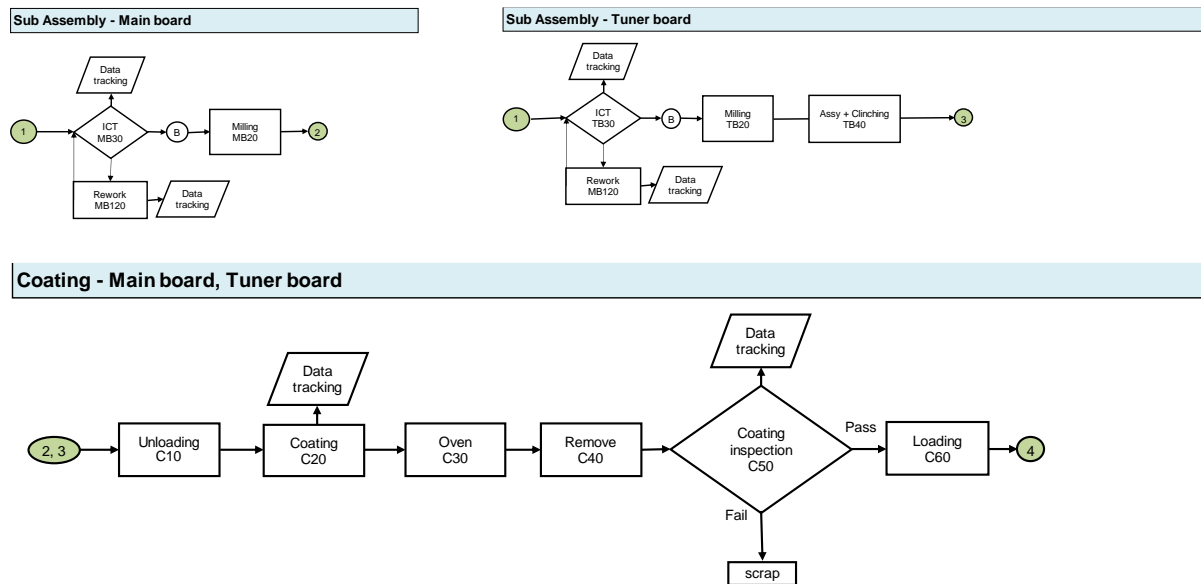


Figura 28 - Fluxo produtivo do produto "A" na área de CBA

Área – Montagem Final

O dimensionamento do sistema de produção de montagem final foi realizado em diversos workshops. Ao analisar o conteúdo de trabalho da montagem final, foi decidido à partida considerar a dispensação de pasta térmica no *heatsink* como uma sub-montagem. Foi calculado em conjunto com o fornecedor que o tempo necessário para produzir uma peça neste posto, incluindo o manuseamento, não iria ultrapassar os 15 segundos.

Como o equipamento de dispensação de pasta térmica tem um tempo de ciclo inferior ao da linha de produção e é também necessário para outros produtos, optou-se por separar este posto da linha de montagem final. Este posto de sub-montagem irá permitir assim a possibilidade de produzir diferentes tipos de produtos além do produto.



Figura 29 - Conceito do equipamento de dispensação de pasta térmica

O restante conteúdo de trabalho da montagem final será agrupado numa linha de montagem balanceada, de modo adequar o seu tempo de ciclo ao *Takt Time* do produto A. Começou por se analisar e listar todo o restante conteúdo de trabalho de acordo com a sequência de montagem do produto A. O conteúdo de trabalho na montagem final é essencialmente composto por aparafusamento e montagem dos diferentes elementos do aparelho. O aparafusamento necessário para a montagem do aparelho é descrito na Figura 30.

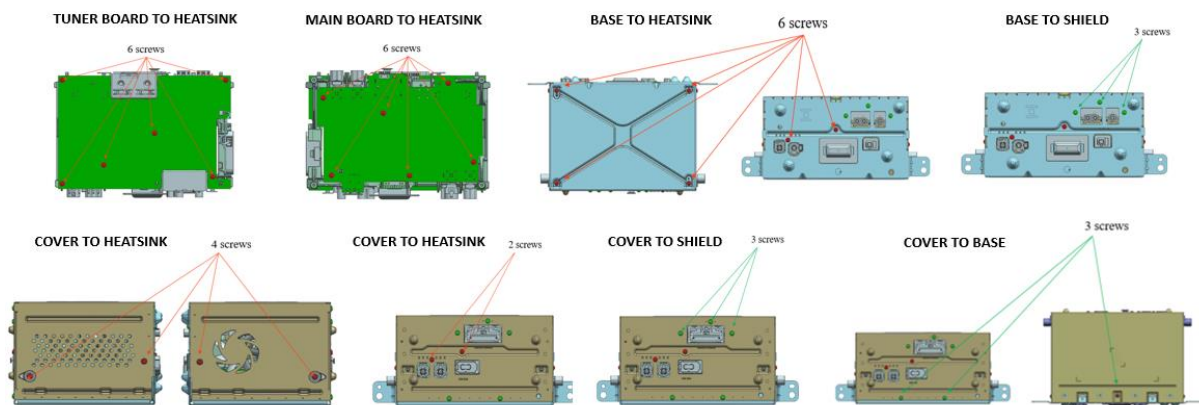


Figura 30 - Conceito de aparafusamento do produto "A"

Estes aparafusamentos têm de ser realizados de acordo com uma ordem relativamente fixa, tanto por uma questão de precedência de montagem, como por razões de stress de origem mecânica que podem ser causados pelo aparafusamento e montagem.

Depois de listadas todas as operações torna-se necessário atribuir tempos teóricos às mesmas, de forma a quantificar o conteúdo de trabalho e poder dividir o mesmo pelos postos de trabalho de forma balanceada.

Para atribuir tempos teóricos às operações a APTIV usa como referência um sistema de “*motions*”, sendo que um “*motion*” corresponde a um movimento efetuado pelo operador, ao qual corresponde 0,6 segundos. Relativamente a processos similares, os valores já se encontram estudados e validados, podendo ser utilizados como valores de referência no estudo e implementação de novos processos produtivos. Na Tabela 3 encontram-se alguns dos valores de referência utilizados para quantificar o conteúdo de trabalho.

Tabela 3 - Valores de referência para operações de montagem

Operações	Motions	Tempo (seg)
Pegar	2	1,2
Rodar	2	1,2
Ler código 2D	3	1,8
Montar	3	1,8
Aparafusar	5	3
Passar para posto seguinte	3	1,8

Depois de listadas todas as operações e atribuídos os respetivos tempos está-se em condições de definir o número de postos de trabalho necessários para cumprir com o *Takt Time* calculado anteriormente. Dividindo o conteúdo de trabalho da montagem final do aparelho pelo *Design Cycle Time* obtém-se o número de postos necessários.

Tabela 4 - Cálculo do número de postos da linha de montagem final do produto "A"

Conteúdo de Trabalho (Segundos)	<i>Design Cycle Time</i>	Número de postos
210	33.1	7

De seguida é utilizada uma ferramenta denominada *Work Combination Table* para auxiliar a divisão do conteúdo de trabalho pelos postos, tendo como objetivo que cada posto tenha um tempo de ciclo igual ou menor que o *Takt Time* e similar entre postos, para garantir uma linha balanceada e com o mínimo de desperdício.

Depois de várias iterações através do uso da WCT e uma análise exaustiva do processo de montagem obteve-se o conteúdo de trabalho por posto. A Tabela 5 apresenta o conteúdo de trabalho do posto 1.

Tabela 5 - Conteúdo de trabalho do posto 1

Posto 1	Motions	Segundos
Pegar heatsink, ler código e colocar no dispositivo	10	6
Pegar ventoinha e montar no heatsink	10	6
Rodar heatsink	3	1,8
Pegar mainboard, ler e montar no heatsink	10	6
Fechar máscara de aparafusamento	3	1,8
Aparafusar 2 parafusos	10	6
Abrir máscara de aparafusamento	2	1,2
Remover conjunto e passar para o posto seguinte	5	3

Total		31,8
--------------	--	-------------

Serão também apresentados os dispositivos de montagem que foram idealizados de acordo com o conteúdo de trabalho previsto para cada posto. O design dos dispositivos teve ainda em consideração a flexibilidade para balanceamentos futuros, permitindo a troca de conteúdo de trabalho, nomeadamente aparafusamentos, entre postos. A Figura 31 mostra o dispositivo de montagem do posto 1.

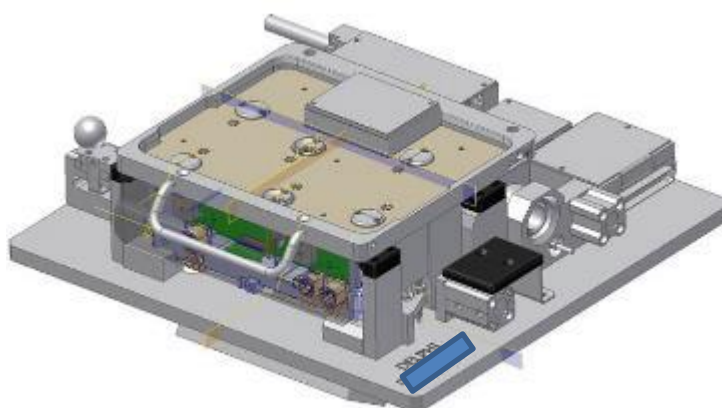


Figura 31 - Dispositivo de montagem do Posto 1

Na Tabela 6 apresenta-se o conteúdo de trabalho do posto 2.

Tabela 6 - Conteúdo de trabalho do posto 2

Posto 2	Motions	Segundos
Pegar no conjunto e colocar no dispositivo	5	3,0
Fechar máscara	3	1,8
Aparafusar 4 parafusos	20	12,0
Abrir máscara	2	1,2
Rodar aparelho	3	1,8
Pegar Placa Tuner, Ler e montar no conjunto	10	6,0
Remover conjunto e passar para o posto seguinte	5	3,0

Total		28,8
--------------	--	-------------

A Figura 32 mostra o dispositivo de montagem do posto 2.

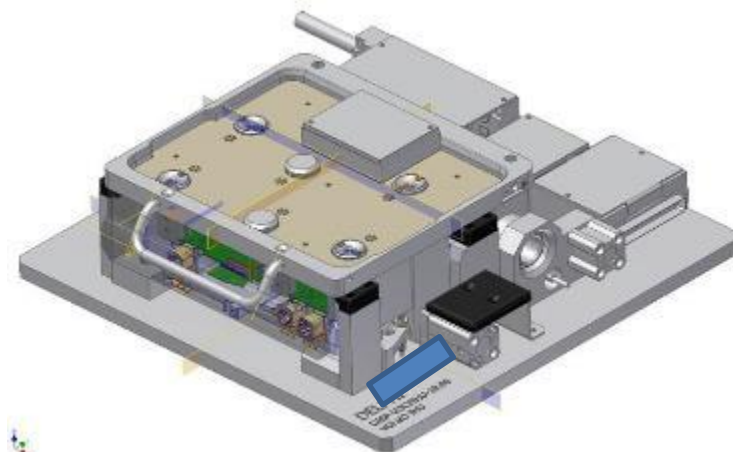


Figura 32 - Dispositivo de montagem do Posto 2

Na Tabela 6 apresenta-se o conteúdo de trabalho do posto 3.

Tabela 7 - Conteúdo de trabalho do posto 3

Posto 3	Motions	Segundos
Pegar no conjunto e colocar no dispositivo	5	3
Fechar máscara	3	1,8
Aparafusar 6 parafusos	30	18
Abrir máscara	3	1,8
Remover conjunto e passar para o posto seguinte	5	3
Total		27,6

A Figura 33 mostra o dispositivo de montagem do posto 3.

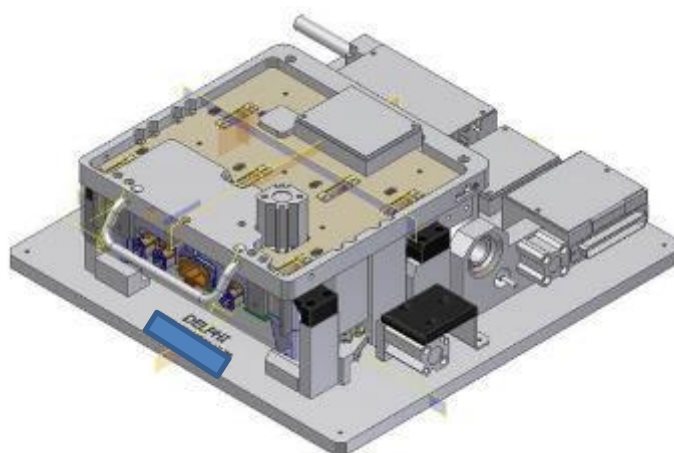


Figura 33 - Dispositivo de montagem do Posto 3

Na Tabela 8 apresenta-se o conteúdo de trabalho do posto 4.

Tabela 8 - Conteúdo de trabalho do posto 4

Posto 4	Motions	Segundos
Pegar no conjunto e colocar no dispositivo	5	3
Pegar na Base, Ler e Montar	10	6
Rodar dispositivo 90°	2	1,2
Aparafusar 4 parafusos	20	12,0
Rodar dispositivo 90°	2	1,2
Pega e monta peça plástica	5	3,0
Remover conjunto e passar para o posto seguinte	5	3,0
Total		29,4

A Figura 34 mostra o dispositivo de montagem do posto 4.

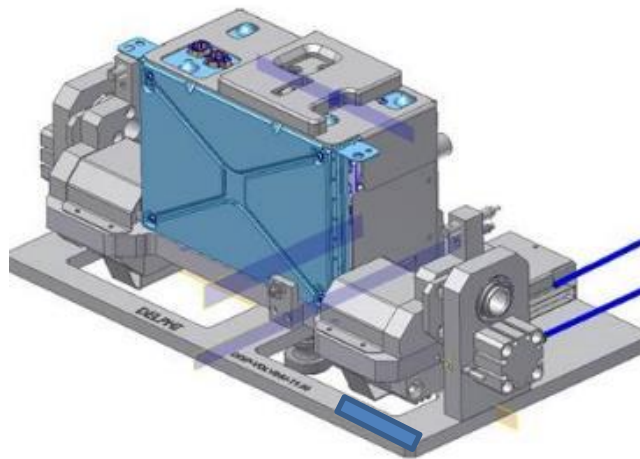


Figura 34 - Dipositivo de montagem do Posto 4

Na Tabela 9 apresenta-se o conteúdo de trabalho do posto 5.

Tabela 9 - Conteúdo de trabalho do posto 5

Posto 5	Movimentos	Segundos
Pegar no conjunto e colocar no dispositivo	5	3,0
Ligar ventoinha	6	3,6
Pressionar botões para inspeção visual	2	1,2
Rodar 90°	3	1,8
Pega cover e monta	8	4,8
Fechar máscara	3	1,8
Aparafusar 3 parafusos	15	9,0
Rodar 90°	3	1,8
Remover conjunto e passar para o posto seguinte	5	3,0
Total		30,0

A Figura 35 mostra o dispositivo de montagem do posto 5.

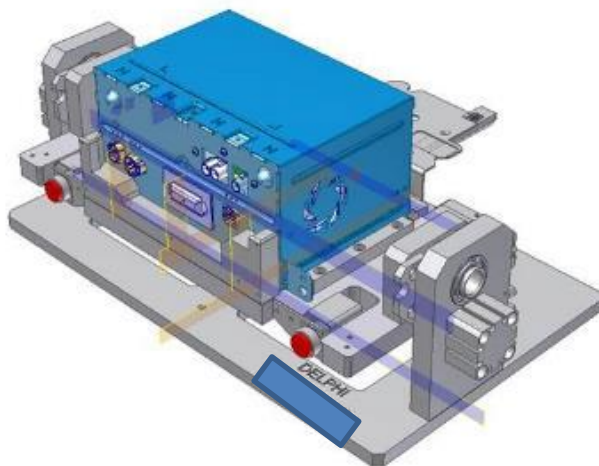


Figura 35 - Dipositivo de montagem do Posto 5

Na Tabela 10 apresenta-se o conteúdo de trabalho do posto 6.

Tabela 10 - Conteúdo de trabalho do posto 6

Posto 6	Motions	Segundos
Pegar no conjunto e colocar no dispositivo	5	3,0
Rodar 90°	3	1,8
Aparafusar 1 parafusos	5	3,0
Rodar 180°	6	3,6
Aparafusar 3 parafusos	15	9,0
Rodar 90°	3	1,8
Aparafusar 1 parafusos	5	3,0
Pega e cola etiqueta	5	3,0
Remover conjunto e passar para o posto seguinte	5	3,0
Total		31,2

A Figura 36 mostra o dispositivo de montagem do posto 6.

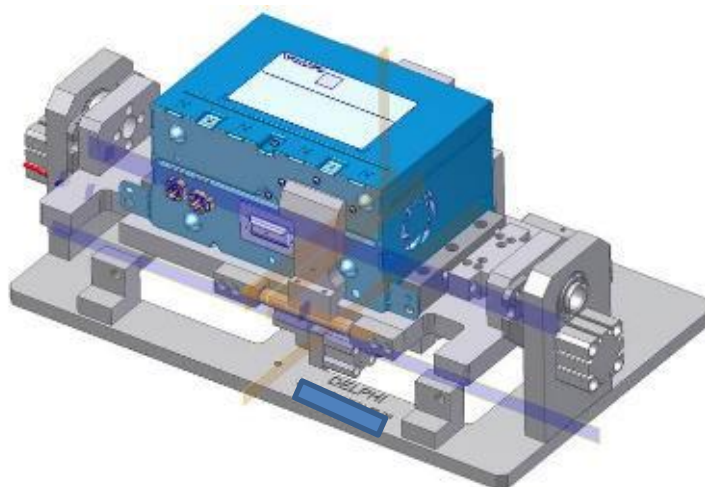


Figura 36 - Dipositivo de montagem do Posto 6

Na Tabela 11 apresenta-se o conteúdo de trabalho do posto 7.

Tabela 11 - Conteúdo de trabalho do posto 7

Posto 7	Motions	Segundos
Pegar no conjunto e colocar no dispositivo	5	3,0
Rodar 90°	3	1,8
Pega bucha e monta	5	3,0
Aparafusar 2 parafusos	10	6,0
Rodar 180°	6	3,6
Pega bucha e monta	5	3,0
Aparafusar 2 parafusos	10	6,0
Rodar 90°	3	1,8
Remover conjunto e passar para o posto seguinte	5	3,0
Total		31,2

A Figura 37 mostra o dispositivo de montagem do posto 7.

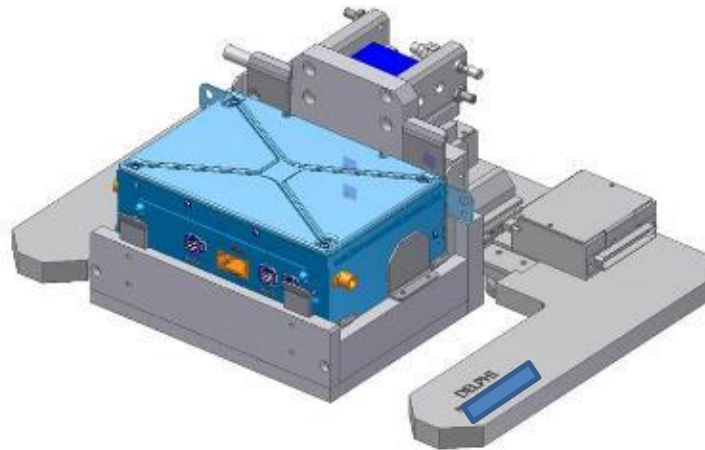


Figura 37 - Dipositivo de montagem do Posto 7

O próximo passo foi analisar que peças são usadas na montagem final e qual é a maneira como serão transportadas entre processos. Para isso é muito importante ter em conta a sensibilidade de cada peça e garantir que durante o transporte e abastecimento não ocorrem danos. As peças a ser abastecidas à linha de montagem final estão identificadas na Figura 38.

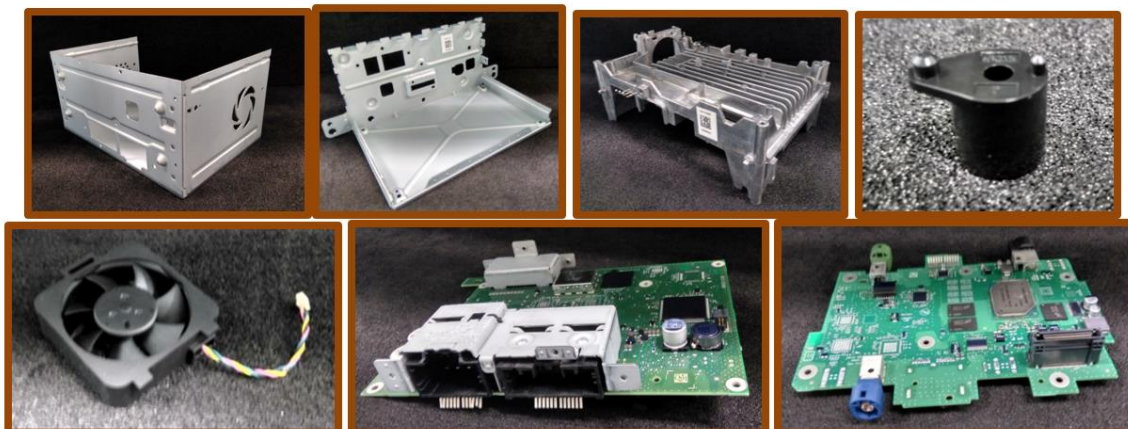


Figura 38 - Peças a ser abastecidas à linha de montagem final do produto "A"

Tendo em conta as peças e a sensibilidade das mesmas, assim como o posto de trabalho e o manuseamento dos operadores, foram idealizadas as embalagens para o transporte e abastecimento das rampas dos postos de trabalho da montagem final. Foram escolhidas de entre as diversas embalagens internas standard as que mais se adequam aos componentes do produto "A".

É necessário ter em conta que todas as embalagens têm de ser produzidas em material ESD, visto que vão ser usadas em ambiente de produção eletrónico, e como referido devem ser escolhidas embalagens que já sejam standard na empresa. Para as placas foram desenhados interiores específicos que serão inseridos nas embalagens standard de modo a proteger os componentes de possíveis danos (Figura 39).

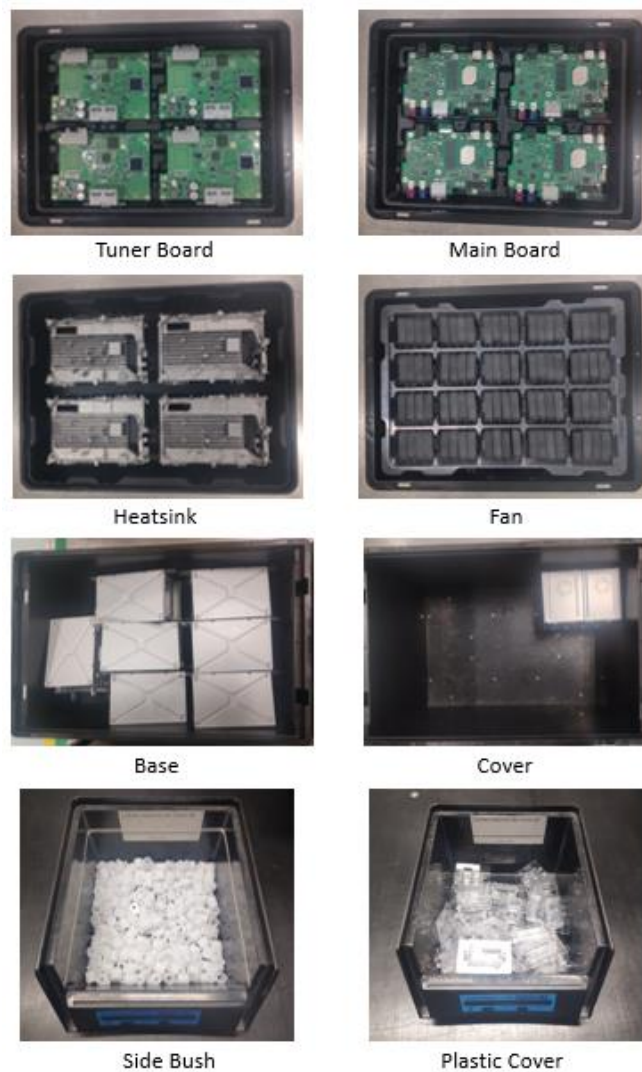


Figura 39 - Embalagens idealizadas para as peças do produto "A"

Com a definição das embalagens e de modo a simular o funcionamento dos postos de trabalho de forma mais aproximada à realidade, procedeu-se à realização de um *mockup* da linha de montagem final (Figura 40). O *mockup* serviu ainda de auxílio para idealizar o abastecimento dos materiais à linha e a forma mais eficiente de se apresentarem aos operadores para a montagem.

MOCKUP FINAL ASSEMBLY LINE

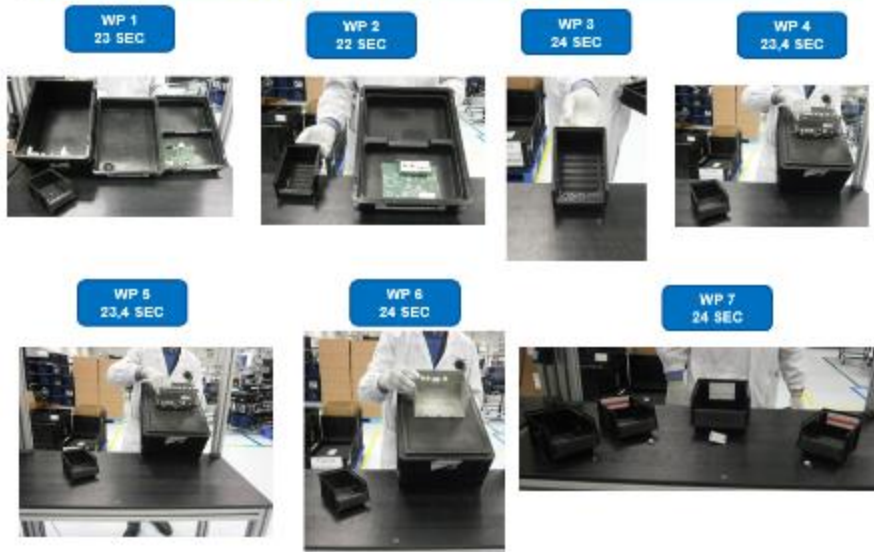


Figura 40 - Mockup da linha de montagem final do produto "A"

O passo seguinte foi, baseado nas embalagens e na forma escolhida para abastecer os materiais à linha, dimensionar o bordo de linha usando 20 min como valor para dimensionar o respetivo tamanho (Figura 41).



Figura 41 - Exemplo de rampas de abastecimento à linha de montagem final do produto "A"

O bordo de linha foi construído na serralharia da Aptiv de acordo com as indicações e medidas fornecidas. No final da linha de montagem final o Produto A tem de ser submetido a testes funcionais para garantir que todas as funcionalidades e parâmetros exigidos pelo cliente são cumpridos. Os produtos são testados

a 100% para garantir que nenhum aparelho com falhas possa chegar ao cliente. Para o efeito foi projetado um sistema de teste para garantir as funcionalidades do aparelho de acordo com as especificações do cliente e que é capaz de testar dois aparelhos simultaneamente (Figura 42).



Figura 42 - Conceito do sistema de teste funcional do Produto "A"

Depois dos testes funcionais os aparelhos são submetidos a um teste CMI (*Customer Mechanic Interface*), um teste de visão automático para garantir que todas as características mecânicas, tais como por exemplo um correto alinhamento dos conectores (essencial para garantir que não existem problemas de montagem no carro do cliente e a qualidade final do produto), estão salvaguardadas. O fluxo produtivo na área da montagem final pode ser observado na Figura 43.

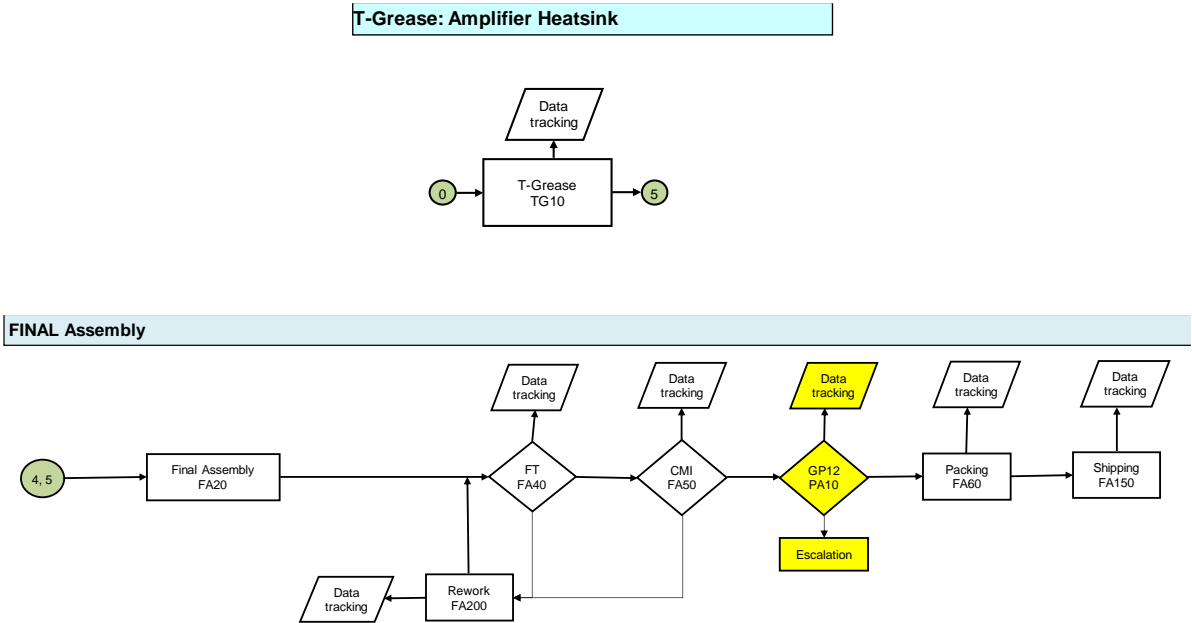


Figura 43 - Fluxo produtivo do produto "A" na Montagem Final

Relativamente ao percurso do Produto A dentro da fábrica, este, está representado na Figura 44.

1. Material incoming from warehouse and plastic
2. Offline Programming / Laser Marking
3. SMT
4. X-Ray (sample base)
5. ICT
6. Milling
7. Coating
8. Sub-Assembly Main/Tuner Boards
9. Final Assembly / Final Test
10. Packaging

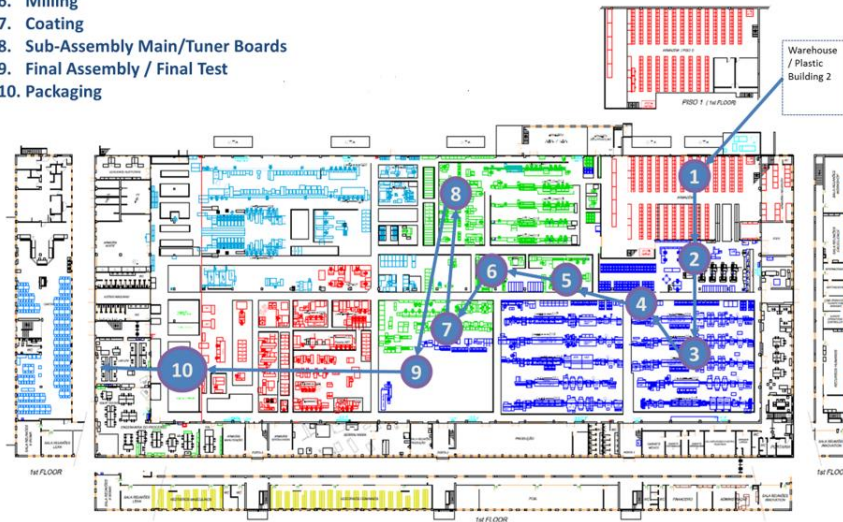


Figura 44 - Percurso do processo produtivo do produto "A"

4.1.1.4 Análise das pré-séries e melhorias

O produto "A" é um produto com um processo produtivo familiar à fábrica, no entanto, tal como cada produto tem particularidades específicas de produção.

As pré-series são um instrumento importante que permite a correção de características do produto e processo antes de entrar em produção. Da análise das pré-séries surgiram diversos pontos, tanto relacionados com o produto, como com o processo, que necessitaram de ser melhorados e que serão apresentados de seguida.

Um exemplo de um problema que surgiu depois de realizada uma das primeiras pré-séries foi a descoberta de um barulho causado pela trepidação do carro depois de instalado o produto A. Para proceder à correção do problema foi necessário pedir uma alteração no molde da peça que é produzida na área dos plásticos.

Outro problema que se observou durante a montagem foi que os dispositivos de montagem acumulavam pasta térmica em algumas áreas. Isto é sinal de que existe contacto entre o material e o dispositivo e que pode levar à diminuição da quantidade de pasta presente no aparelho. Desta forma procedeu-se ao recorte das áreas onde houve este contacto de acordo com a Figura 45.

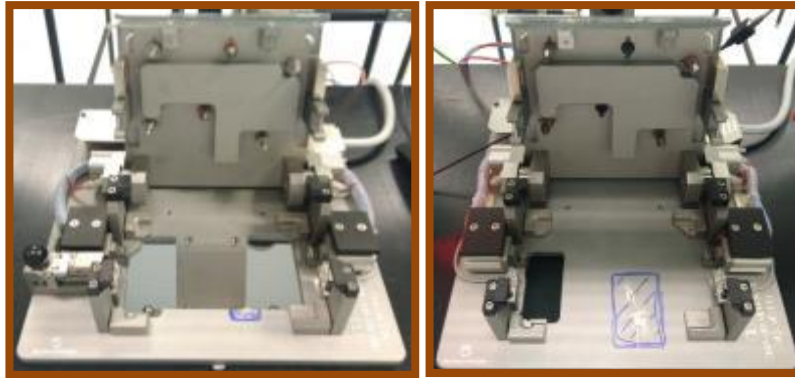


Figura 45 - Alterações nos dispositivos de montagem final

Foram também implementados diversos sistemas *Poka-Yoke*, de modo a prevenir potenciais erros que podem ocorrer durante a montagem. De modo a garantir que a pasta térmica está presente antes da montagem das placas foi instalado um sistema de visão automático. Desta forma, antes da montagem o sistema de visão confirma que existe pasta térmica nos locais definidos e apenas permite continuar a montagem no caso de o sistema fazer a validação.

No equipamento de colocação de pasta térmica também foi verificado que no caso de o operador colocar de forma errada o *heatsink* poderia haver dano no equipamento e no produto, ou uma dispensação incorreta de material.

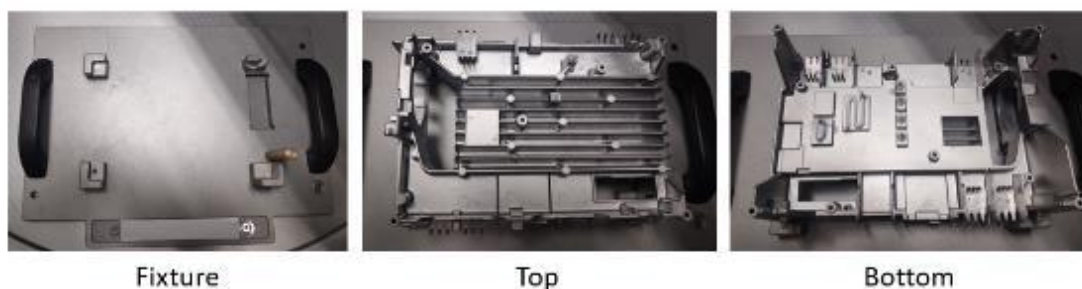


Figura 46 - Dispositivos para aplicação de pasta térmica

Para resolver este problema foram instalados dois scanners no equipamento. De acordo com a posição em que se encontra o *heatsink*, (voltado para cima ou voltado para baixo) o código fica em posições diferentes. Desta forma, cada scanner seleciona um programa de aplicação de acordo com a posição do *heatsink*, garantindo ainda que a leitura só é efetuada se estiver corretamente posicionado.

Como referido, o equipamento irá fazer outros produtos. Assim desenvolveu-se um carrinho para o *change-over* das bases de acordo com a Figura 47.



Figura 47 - Carrinho de change-over de bases

Durante a montagem dos aparelhos foi também identificado que o operador poderia montar o aparelho sem as buchas e isto apenas seria detetado nos testes finais. Desta forma foi integrado um sensor no dispositivo do Posto 7 de modo a verificar a presença da bucha.

Relativamente ao aparafusamento, foi estudado e decidiu aplicar-se um novo sistema de aparafusamento que permite garantir que a sequência de aparafusamento é cumprida de acordo com o que foi definido, para garantir estabilidade no processo e uma maior qualidade do produto final.



Figura 48 - Imagem do sistema de eixos para aparafusamento

O sistema funciona com um sistema de coordenadas X e Y integrado com o programa de montagem que apenas ativa a funcionalidade de aparafusamento quando a aparafusadora se encontra na posição pretendida, sendo que apenas permite o aparafusamento seguinte depois de o aparafusamento anterior ter sido validado pela máquina.

Depois de realizadas as primeiras pré-séries constatou-se através da medição dos tempos de ciclo de cada posto, que os tempos teóricos estimados anteriormente tinham uma validação prática obtendo-se um tempo de ciclo da linha de 31,2 segundos. No decorrer destas pré-séries foram identificadas e implementadas diversas melhorias que levaram a uma redução do tempo de ciclo.

Em primeiro lugar, foram identificados e corrigidos todos os impedimentos que ocorreram durante o processo de montagem, tais como, o abastecimento de materiais, interferências nos dispositivos, melhorias na definição do posicionamento dos materiais e do *standard work*, que resultaram em melhorias no handling geral dos materiais e do aparelho.

De seguida foi analisado que tipo de conteúdo de trabalho poderia ser eliminado. A melhoria com mais impacto no tempo de ciclo esteve relacionada com eliminação das leituras de códigos dos Scanners, eliminando o conteúdo de trabalho através da integração de leituras automáticas nos dispositivos.

Foram ainda criadas bases entre os postos de trabalho para facilitar o posicionamento do aparelho em relação aos scanners e para garantir que o aparelho fosse colocado sempre na mesma posição.

Todas estas melhorias foram acompanhadas da análise dos tempos de ciclo e do respetivo balanceamento dos postos sempre que se verificou pertinente.

Por fim, foi importante a formação dos operadores no posto de trabalho, que resultou numa maior rapidez de execução das tarefas, verificando-se melhorias nos tempos de ciclo a cada nova pré-série.

Na Tabela 12 é possível observar a evolução dos tempos de ciclo de cada posto, verificando-se uma evolução do tempo de ciclo, conseguindo-se uma melhoria de 7,8 segundos em relação ao tempo de ciclo estimado inicialmente.

Tabela 12 - Análise de tempos das pré-séries do produto "A "

	Tempo Estimado	Pré-série 1	Pré-série 2	Pré-série 3	Pré-série 4
Posto 1	31,8	32,3	27,2	23,4	23,4
Posto 2	28,8	28,5	24,0	21,6	21,6
Posto 3	27,6	28,2	26,0	24,0	24,0
Posto 4	29,4	29,2	24,5	22,8	22,8
Posto 5	30,0	31,5	28,9	24,6	23,6
Posto 6	31,2	30,6	27,2	24,0	24,0
Posto 7	31,2	30,2	25,2	22,8	22,8
Tempo de Ciclo	31,8	32,3	28,9	24,6	24,0

Desta forma, foi possível reduzir o tempo de ciclo da linha de 31,8 para 24 segundos, o que permite que seja possível produzir a quantidade prevista de aparelhos praticamente em apenas dois turnos na área da montagem final.

Foi também necessário implementar uma bancada de análise dedicada ao Produto A para permitir a análise dos possíveis defeitos que podem ocorrer durante o processo de montagem ou testes. Foram avaliadas as bancadas de análise existentes e observou-se que existe potencial de melhoria e até a necessidade de mudar o standard das bancadas de análise de produtos da fábrica. Assim foi efetuado um levantamento das necessidades para uma bancada de análise juntamente com os técnicos, engenheiros de produto e engenheiros de qualidade, principais envolvidos nos processos de análise e retrabalho.

Na Figura 50 podemos observar as diferenças entre as bancadas de análise antigas e o novo standard.



Figura 49 - Implementação de novo standard de bancada de análise

O novo standard de bancadas de análise permite uma maior limpeza, uma maior organização e arrumação de equipamentos, cabos e interfaces, havendo também uma melhoria em termos de luminosidade, garantindo assim melhores condições de análise e uma melhoria clara em termos visuais

da fábrica. Destaque também para a implementação de aparafusadoras elétricas em vez de aparafusadoras automáticas, garantindo um maior controlo do processo de análise e retrabalho.

Todas as novas bancadas de análise irão seguir o novo modelo da bancada do Produto A, sendo que também foi elaborado um plano para a substituição de bancadas existentes. O standard de bancadas pode ser consultado no apêndice V.

4.1.1.5 Avaliação do sistema produtivo

Os processos implementados permitiram a produção da quantidade de aparelhos solicitada nas previsões de volumes contratualizadas com o cliente com a qualidade especificada e as especificações do produto, cumprindo assim o objetivo principal do trabalho.

O trabalho efetuado permitiu ainda melhorias futuras que estão garantidas através da flexibilidade dos dispositivos de montagem, possibilitando a troca de conteúdo de trabalho entre os diversos postos de montagem.

Destaque também para toda a documentação de processo criada relativamente ao sistema produtivo, como as instruções de trabalho, exemplos das quais podem ser encontradas no apêndice IV, que serviram de base para a formação dos operadores.

As auditorias com o cliente correram dentro das expectativas, não sendo levantados pontos significantes e tendo cumprido os tempos dos diversos processos, tendo portanto a empresa cumprido todos os pressupostos para iniciar a produção para o cliente.

4.2.2 Produto “B”

A introdução do produto “B” seguiu a mesma metodologia que o produto “A”, sendo que as etapas estão descritas de seguida.

4.1.2.1 Introdução

O produto “B” é um produto dentro da gama *Electronic Controls*, que irá ser utilizado no controlo do ar condicionado dos bancos traseiros. O produto “B” é um produto bastante simples com volumes relativamente reduzidos. O desafio na implementação passou por integrar a montagem e o abastecimento de todo o material num único posto de montagem.



Figura 50 - Produto "B"

4.1.2.2 Análise do Produto

O produto "B" é constituído por 12 componentes. Como podemos observar na Figura 51, o produto é constituído por um PCB, 4 *indicators* (guias de luz), um *switchpad* (esteira para atuar os botões) e dois botões.

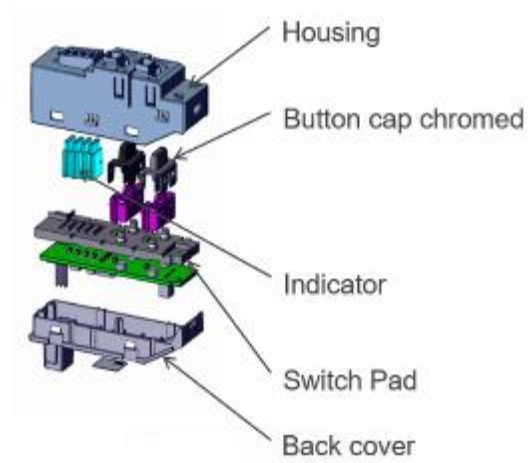


Figura 51 - Vista explodida do produto "B"

Este produto é relativamente simples, sendo um módulo para o controlo da intensidade do ar condicionado dos bancos traseiros. O produto "B" apenas possui uma versão, simplificando, portanto, o processo produtivo.

4.1.2.3 Definição do processo e dimensionamento do Sistema Produtivo

Nesta secção será detalhado o processo produtivo do produto "B" em cada uma das áreas da fábrica. A implementação do processo produtivo do produto "B" contou com a participação de todos os departamentos e diversas competências da fábrica. O resumo do processo produtivo do produto "B" pode ser observado na Figura 53.

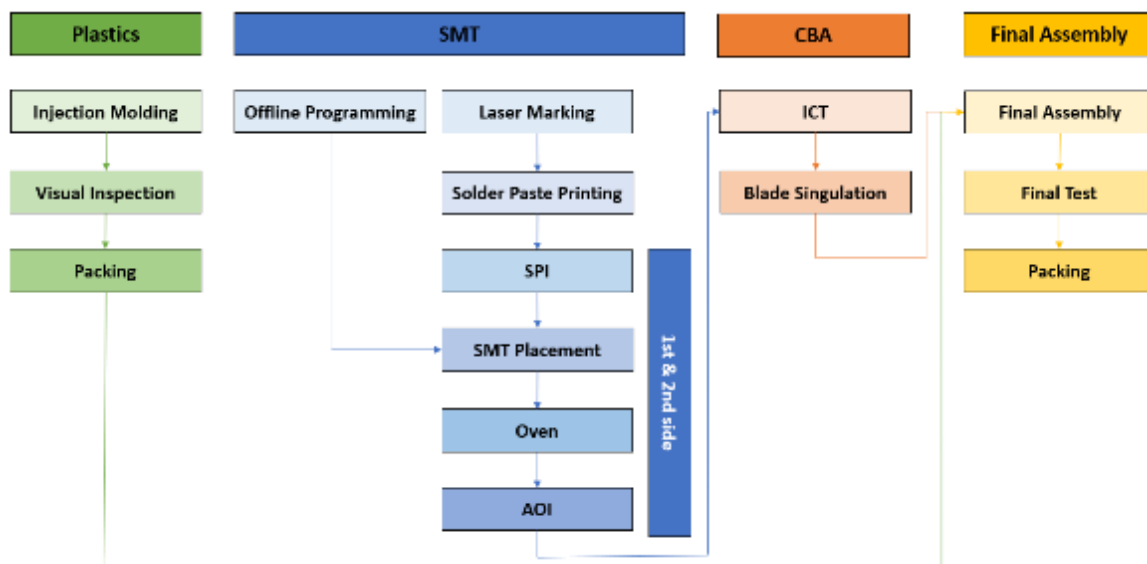


Figura 52 - Processo produtivo do produto "B"

À semelhança do produto A iniciou-se o dimensionamento do sistema produtivo pela análise dos volumes pretendidos pelo cliente e pela definição do *Takt Time* do produto. A análise dos volumes do produto "B" e o *Takt Time* correspondente estão representados na Tabela 13.

Tabela 13 - Volumes e tempos do produto B

Ano	Volume	Dias de produção calendarizados	Procura diária	Takt Time (Seg)			Design Cycle Time (OE=95%)
				1 turno	2 turnos	3 turnos	
2017	64544	240	269	102,0	203,9	305,9	
2018	107232	240	447	61,4	122,7	184,1	58,3
2019	78798	240	328	83,5	167,0	250,5	
2020	74601	240	311	88,2	176,4	264,6	
2021	70443	240	294	93,4	186,8	280,3	
2022	63216	240	263	104,1	208,2	312,3	
2023	40183	240	167,4	163,8	327,5	491,3	
2024	21752	240	90,6	302,5	605,1	907,6	

De acordo com tempo estimado, com base no conteúdo de trabalho necessário para montar o produto, optou-se por usar um *Takt Time* de 61 segundos, com um *Design Cycle Time* de aproximadamente 58 segundos, para desenhar o processo na montagem final, correspondente ao ano em que existe previsão de maior volume. Nos processos partilhados, nomeadamente nas áreas de SMT e CBA, foi realizada uma análise de capacidade partilhada que não será abordada.

De seguida irá apresentar-se o trabalho realizado em cada uma das áreas produtivas da fábrica para a implementação do Produto "B" e a descrição dos diferentes processos.

Área - Plásticos

À semelhança do produto “A” foi estudado que tipo de peças seria economicamente e tecnicamente possível produzir na fábrica de Braga. No produto “B” foram considerados o *housing*, o *indicator* e a *back cover* para a produção na área dos plásticos (Figura 53).

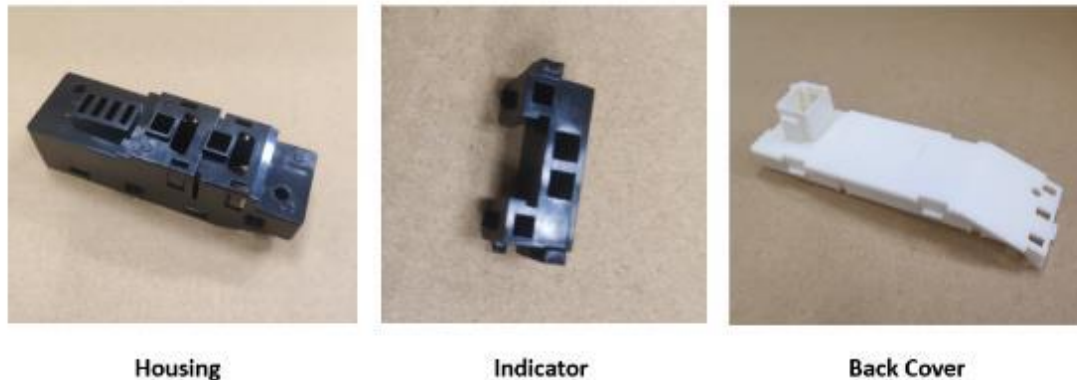


Figura 53 - Peças Plásticas do produto B

Estas peças são fabricadas através do processo de injeção. Depois de injetada a peça é inspecionada visualmente e enviada para o edifício 1, para abastecer a linha de montagem final consoante as necessidades de produção (Figura 54).

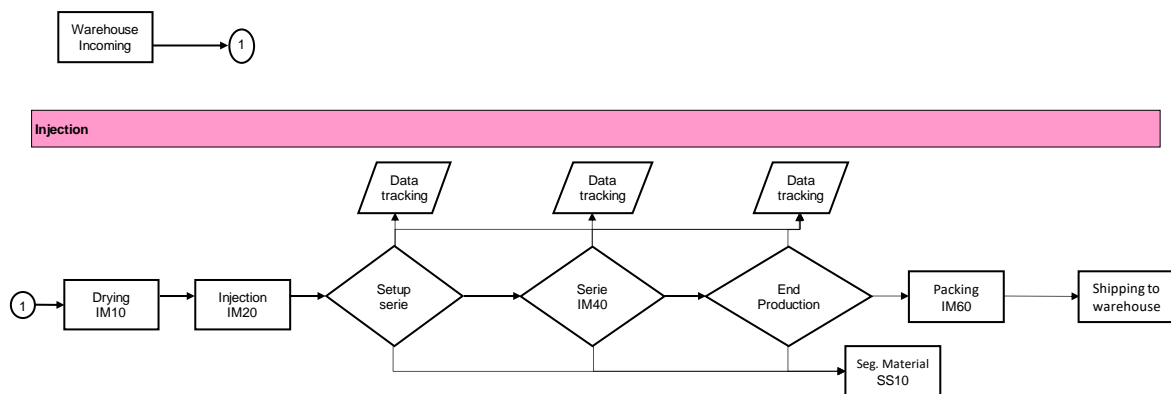


Figura 54 - Fluxo produtivo do produto "B" na área de plásticos

Área - SMT

O processo produtivo do produto “B” na área de SMT inicia com a programação offline de componentes dos PCB's com o respetivo software de produto e com a marcação a laser. Após a gravação a laser os PCB's seguem para a linha de montagem automática onde são inseridos e soldados os componentes dando origem ao *array* de PCB's (Figura 55).



Figura 55 - Array de PCB 's do produto "B"

O fluxo produtivo do produto "B" na área de SMT pode ser observado na Figura 56.

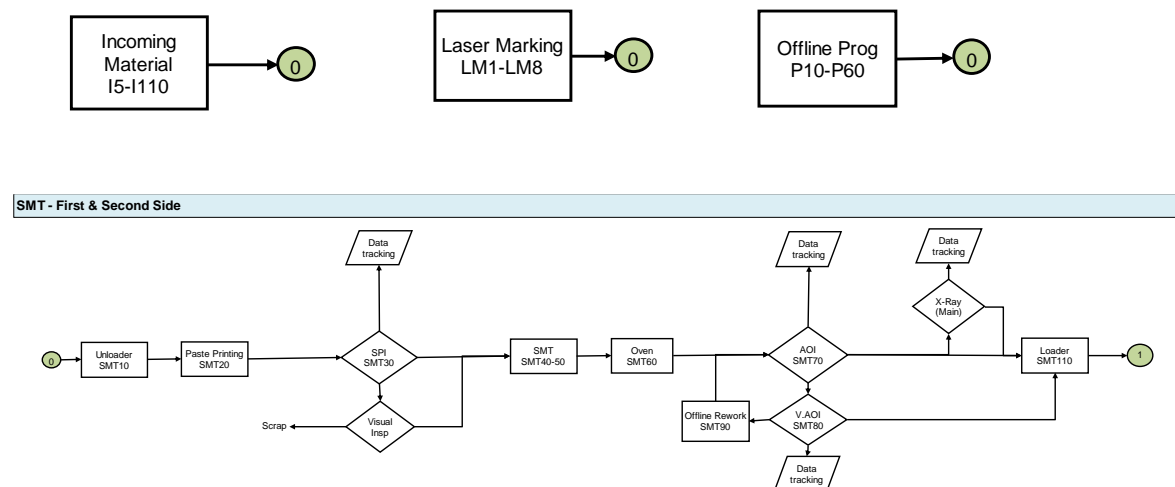


Figura 56 - Fluxo produtivo do produto "B" na área de SMT

Área - CBA

Após o processo de SMT o produto "B" segue para a área de CBA onde é realizado o teste de circuito (ICT), para garantir a presença dos componentes e a sua correta colocação. Depois do ICT, o *array* de placas é separado em placas individuais através do processo de singulação e colocado em tabuleiros seguindo para a área da montagem final (Figura 57).



Figura 57 - PCB's do produto "B" após singulação

Foram avaliados os diferentes tabuleiros existentes na fábrica para as placas, sendo que foi um escolhido um com as dimensões apropriadas e com capacidade para as 12 placas de um *array*. O fluxo produtivo do produto "B" na área de CBA pode está descrito na Figura 58.

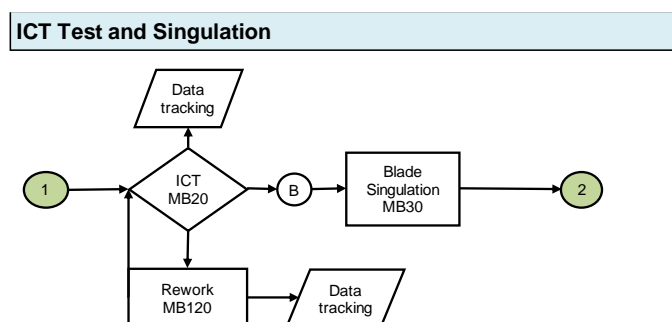


Figura 58 - Fluxo produtivo do produto "B" na área de CBA

Área – Montagem Final

Na área da montagem final, iniciou-se o dimensionamento do sistema produtivo com a definição e análise do conteúdo de trabalho necessário à montagem do aparelho. Foram listadas todas as tarefas com as necessárias precedências e atribuídos respectivamente tempos teóricos para a sua execução. Esta listagem foi realizada através da ferramenta *Work Combination Table*, que se encontra no apêndice II, sendo que o conteúdo de trabalho está descrito na Tabela 14.

Tabela 14- Conteúdo de trabalho do produto "B"

Conteúdo de Trabalho	Motions	Segundos
Abre Prensa	2	1,2
Pega housing e monta no dispositivo	4	2,4
Pega light pipe e monta no housing	16	9,6
Pega button e cap e monta	6	3,6
Monta no housing	3	1,8
Pega button e cap e monta	6	3,6
Monta no housing	3	1,8
Fecha prensa	2	1,2
Prensagem	10	6
Abre Prensa	2	1,2
Pega Switchpad e monta	4	2,4
Pega placa e lê	5	3
Retira Protecção e monta no housing	3	1,8
Pega cover e monta	3	1,8
Fecha Prensa	3	1,8
Prensagem	10	6
Abre Prensa	2	1,2
Cola etiqueta	5	3
Passa aparelho para posto seguinte	2	1,2
Pega aparelho e coloca no teste	2	1,2
Teste		40
Passa aparelho para posto seguinte	2	1,2
Ler aparelho	5	3
Colocar na embalagem	2	1,2
Total		101,2

De acordo com o conteúdo de trabalho, considerando um turno de trabalho e um *Takt time* de 58,3 segundos, seriam necessários dois operadores para a montagem, teste e embalagem do produto "B" (Tabela 15).

Tabela 15 - Cálculo do número de postos de trabalho do produto "B"

Conteúdo de Trabalho (Segundos)	<i>Takt Time</i>	Número de postos
101,2	58,3	2

Pela análise da montagem do produto e para garantir o cumprimento de questões ergonômicas e de requisitos do produto, chegou- à conclusão que seriam necessárias várias operações de prensagem automáticas. A primeira está relacionada com a colocação dos *light Pipes* à altura definida nas especificações do produto, a segunda está relacionada com a inserção dos botões no *housing* a terceira está relacionada com a montagem da *back cover* no *housing* para fechar o produto.

Desta forma foi idealizado um dispositivo representado na Figura 59, que permite, de forma controlada, garantir que todas as operações de prensagem são realizadas de forma correta e existe inserção de todos os *snaps* do aparelho. Este dispositivo tem ainda a particularidade que permite que enquanto se faz as

duas primeiras operações de prensagem num aparelho, seja possível realizar a terceira operação de prensagem num outro aparelho de modo a otimizar o tempo máquina da operação de montagem. Desta forma existe uma alteração no tempo estimado de montagem eliminando diversas operações.

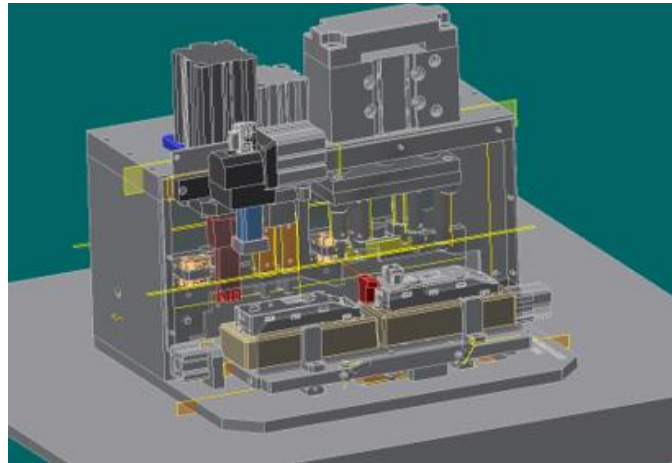


Figura 59 - Prensa e dispositivo de montagem do produto "B"

Assim, verifica-se uma redução no conteúdo de trabalho do produto B, possibilitando uma redução no tempo de montagem em 11 segundos (Tabela 16).

Tabela 16 - Ganho obtido na montagem final do produto "B"

Montagem Produto B (Inicial)	Motions	Segundos	Montagem Produto B (Nova)	Motions	Segundos
Abre Prensa	2	1,2	Retira peça	3	1,8
Pega housing e monta no dispositivo	4	2,4	Passa conjunto p/2º lugar dispositivo	3	1,8
Pega light pipe e monta no housing	16	9,6	Pega housing e monta no dispositivo	3	1,8
Pega button e cap e monta	6	3,6	Pega light pipe e monta no housing	16	9,6
Monta no housing	3	1,8	Pega button e cap e monta	6	3,6
Pega button e cap e monta	6	3,6	Monta no housing	3	1,8
Monta no housing	3	1,8	Pega button e cap e monta	6	3,6
Fecha prensa	2	1,2	Monta no housing	3	1,8
Prensagem	10	6	Pega Switchpad e monta	4	2,4
Abre Prensa	2	1,2	Pega placa e lê	5	3
Pega Switchpad e monta	4	2,4	Retira Protecção e monta no housing	3	1,8
Pega placa e lê	5	3	Pega cover e monta	3	1,8
Retira Protecção e monta no housing	3	1,8	Fecha Prensa	3	1,8
Pega cover e monta	3	1,8	Prensagem		4
Fecha Prensa	3	1,8	Cola etiqueta	5	3
Prensagem	10	6			
Abre Prensa	2	1,2			
Cola etiqueta	5	3			
Passa aparelho para posto seguinte	2	1,2			
Total		54,6	Total		43,6

Um dos desafios na implementação do produto "B" passou pela definição da apresentação do material ao operador. Como se optou por concentrar todo o trabalho de montagem num posto, foi necessário

encontrar uma forma de disponibilizar todo o material e abastecer o posto de uma forma eficaz. Após a realização de um *mock up*, chegou-se a uma solução final que pode ser observada na Figura 60.

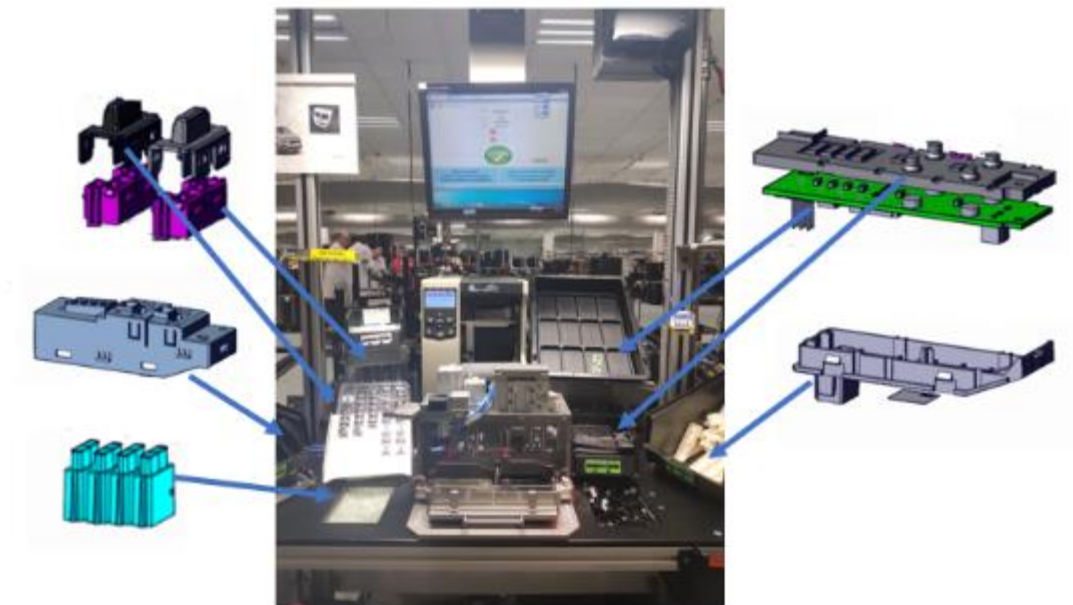


Figura 60 - Posto de montagem do Produto "B"

Como pode ser observado as peças foram colocadas de acordo com a sequência de montagem do aparelho, facilitando a montagem do produto.

Foi ainda necessário criar a embalagem final para o produto "B", tentando maximizar o número de peças por caixa, sem colocar em causa a integridade do produto do transporte. Foi dimensionado o tabuleiro interior que entra nas caixas do cliente, com uma capacidade de 14 peças (totalizando 56 peças por caixa) e indicação da posição, como pode ser observado na Figura 62.



Figura 61 - Imagem da caixa e interior da embalagem final do produto "B"

O fluxo produtivo do produto "B" na área de montagem final pode ser observado na Figura 62.

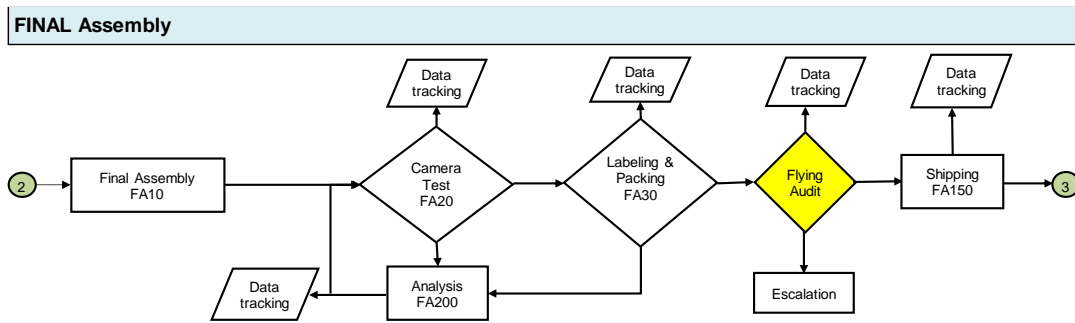


Figura 62 - Fluxo produtivo do produto "B" na área de montagem final

4.1.2.4 Análise das Pré séries e Melhorias

Durante as pré-séries foram realizadas diversas melhorias no processo produtivo do Produto "B". Uma das melhorias realizadas foi a implementação de uma prensa automática para uma pré-montagem do botão (*indicator no button cap*). Isto revelou-se necessário para garantir que todos os *snaps* estão corretamente inseridos, dado que estavam a aparecer alguns produtos em que isto não acontecia e era necessário que o operador fizesse esta montagem e inspecionasse cada botão, aumentando o conteúdo de trabalho. A prensa desenvolvida para o efeito pode ser observada na Figura 63.

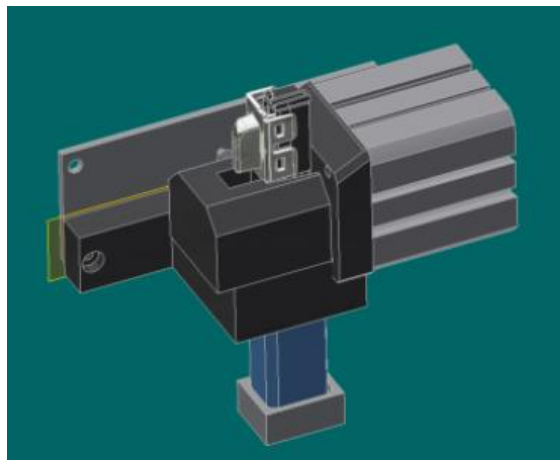


Figura 63 - Prensa de montagem do botão

Depois da realização das pré-séries e da formação e treino de operadores na montagem do produto "B", assim como com a implementação da prensa automática e também uma disposição favorável das peças para a montagem pelo operador, surgiu a oportunidade de ser o mesmo operador a executar as tarefas de montagem, teste e embalagem do produto "B" (Tabela 17).

Tabela 17 - Revisão do conteúdo de trabalho do produto "B"

Operações	Motions	Segundos
Retira peça	3	1,8
Passa conjunto p/2º lugar dispositivo	3	1,8
Pega housing e monta no dispositivo	3	1,8
Pega light pipe e monta no housing	16	9,6
Pega button e cap e monta	6	3,6
Monta no housing	3	1,8
Pega button e cap e monta	6	3,6
Monta no housing	3	1,8
Pega Switchpad e monta	4	2,4
Pega placa e lê	5	3
Retira Protecção e monta no housing	3	1,8
Pega cover e monta	3	1,8
Fecha Prensa	3	1,8
Prensagem		4
Cola etiqueta	5	3
Coloca Peça no teste	5	3
Retira peça do teste	5	3
Lê e coloca na Embalagem	5	3
Total		52,6

Para tal foi reformulada o posto de montagem e teste, de modo a permitir que fosse o mesmo operador a realizar estas operações. O operador passou a trabalhar em pé e houve uma reconfiguração em termos de layout, eliminando o posto de embalagem ficando o posto organizado como pode ser observado na Figura 64. O layout pode ser consultado no apêndice III.

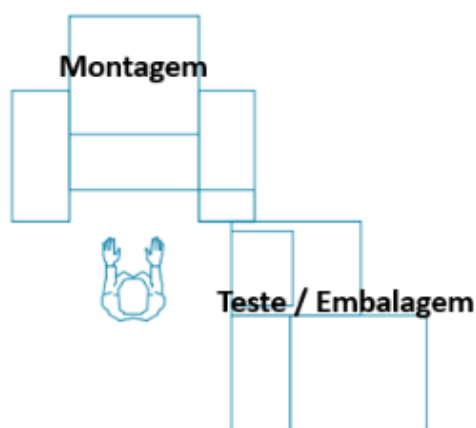


Figura 64 - Layout da montagem final do produto "B"

De forma a melhorar as condições ergonómicas do posto de trabalho, que é realizado em pé e com grande componente estática, foi implementado um tapete antifadiga (Figura 65).



Figura 65 - Tapete antifadiga implementado

O princípio dos tapetes anti fadiga assenta em impulsões muito subtis, que estes induzem aos músculos das pernas, favorecendo a circulação sanguínea e diminuindo a fadiga dos trabalhadores. Outra das vantagens dos tapetes é diminuir consideravelmente as dores musculares e articulares. Assim, a implementação destes tapetes traduz-se numa maior satisfação dos trabalhadores, num menor risco de fadiga e por conseguinte em maior produtividade.

4.1.2.5 Avaliação do sistema produtivo

O produto “B” como referido na introdução é um produto com um processo produtivo bastante simples. Os problemas encontrados durante foram as pré-séries, nomeadamente relacionados com uma incorreta montagem dos botões, foram resolvidos como referido anteriormente. Conseguiu-se ainda com diversas melhorias reduzir o tempo de montagem do produto “B”, tornando possível um operador realizar a sua montagem, teste e embalagem no tempo inicialmente previsto para dois.

O processo produtivo implementado para o produto “B” permite a produção de cerca de 500 produtos por turno, sendo assim possível produzir a quantidade diária máxima prevista em apenas um turno, sendo de destacar que foi possível alcançar estes valores com apenas um operador.

A auditoria de validação do processo com o cliente correu dentro das expectativas obtendo-se a respetiva validação para iniciar a produção.

4.3 Modificação de um produto existente

Alterações dos produtos acontecem constantemente ao longo do ciclo de vida do produto. Podem ser motivadas por avanços tecnológicos, motivos de qualidade ou oportunidades de poupança através de redesign.

4.3.1 Produto "C"

O produto C é um produto que sofreu uma alteração devido a uma modificação tecnológica, o que implicou muitas alterações ao sistema produtivo existente para a sua produção. Assim, seguiu-se parcialmente a mesma metodologia que para os novos produtos.

4.2.1.1 Introdução

O Produto "C" é um painel frontal com funções de entretenimento, que tem origem num redesign extensivo baseado principalmente na mudança de tecnologia de deteção de toque, de resistiva para capacitiva.



Figura 66 - Produto "C"

A versão inicial do produto "C" estava em produção há cerca de três anos e foi alvo de um redesign devido a mudanças de tecnologia que tornam o produto por um lado mais atrativo para o cliente final e por outro traz vantagens económicas relacionadas com o custo da BOM. Este redesign, implicou mudanças significativas de processo, principalmente na área da montagem final.

4.2.1.2 Análise do Produto

Como já referido o redesign do produto "C" implicou alterações do produto relacionadas principalmente com a mudança de tecnologia de resistiva para capacitiva. Esta mudança pode ser observada na Figura 68.

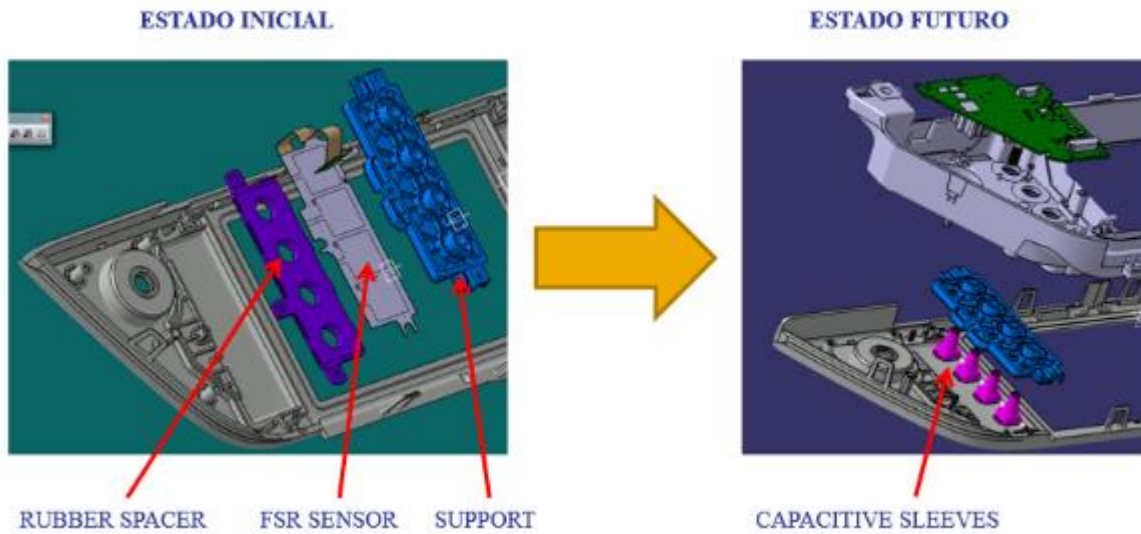


Figura 67 - Redesign do produto "C"

Como se pode observar estas mudanças relativamente á montagem final passam pela remoção das peças *rubber*, *spacer* e *fsr sensor* e pela substituição destas por *capacitive sleeves*. Na Figura 68 pode-se observar a vista explodida do produto "C".

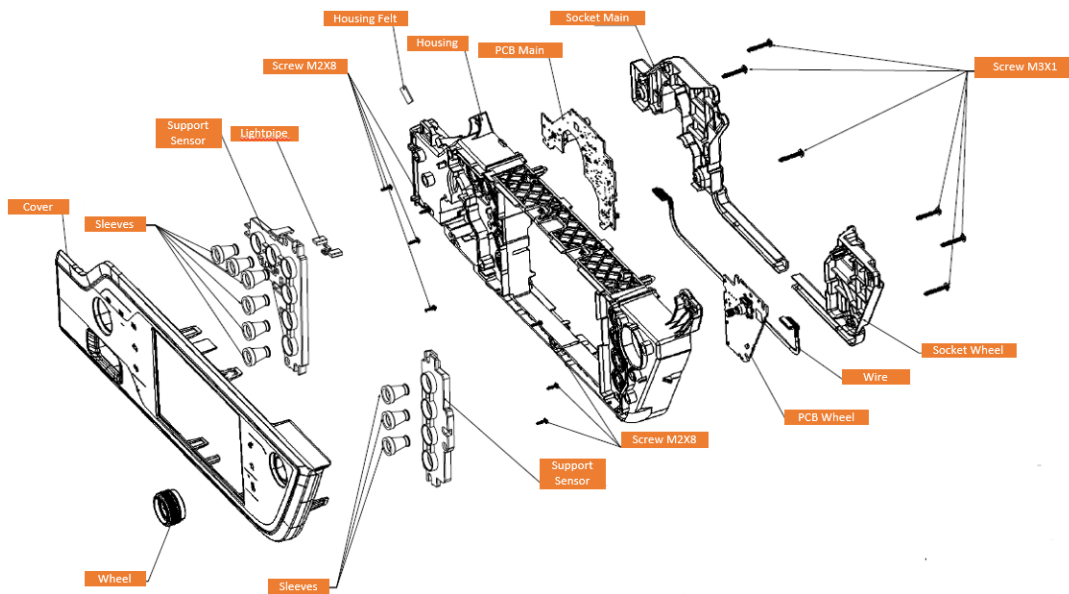


Figura 68 - Vista explodida do produto "C"

A quantidade de *Sleeves* que são colocadas em cada *support* é variável de acordo com o número de botões que pode ser ativado no painel. Existem duas versões do produto "C", LHD e RHD, cada uma com quatro configurações diferente, perfazendo um total de oito variantes como exemplifica a Figura 69.

VARIANT DEFINITION

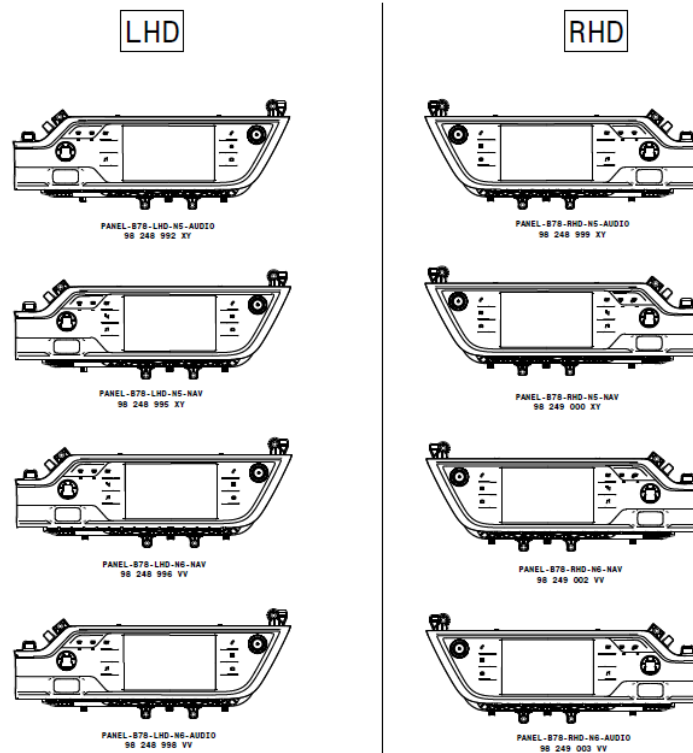


Figura 69 - Variantes do produto "C"

Para realizar a alteração deste produto foram necessárias diversas alterações relacionadas com PCB's, peças plásticas, internas e de fornecedores, e uma reconfiguração parcial do processo de montagem final que será detalhada mais à frente.

4.2.1.3 Dimensionamento do Sistema Produtivo

A implementação do produto "C" revelou-se um desafio, dado que foi necessária introduzir as alterações no produto sem interromper a produção do modelo anterior. As alterações mais significativas estão relacionadas com a área de montagem final, onde houve maior alteração em termos de processo produtivo, sendo que é aí que será colocado maior ênfase neste trabalho.

Nesta secção será detalhado processo produtivo do produto "C" em cada uma das áreas da fábrica. O processo produtivo do produto "C" pode ser observado na Figura 70.

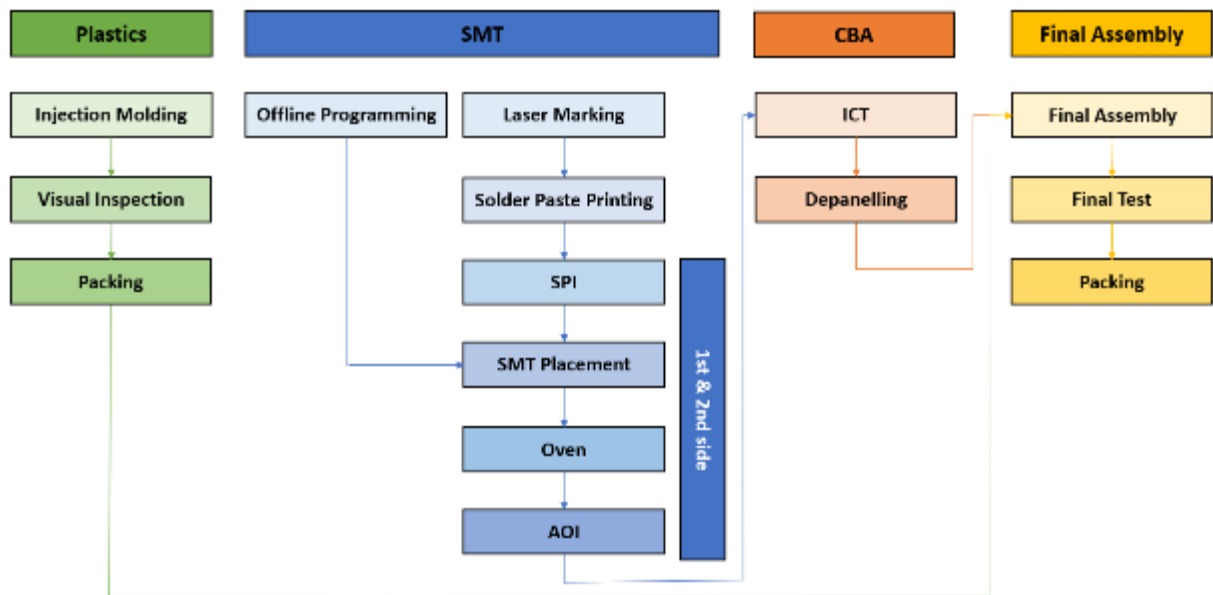


Figura 70 - Processo produtivo do produto "C"

Os volumes e respetivo *takt time* podem ser analisados na Tabela 18. Através da análise futura dos volumes verificou-se que o *takt time* em relação à versão inicial do produto "C" se mantém praticamente inalterado, sendo, portanto, necessário implementar um processo que tenha tempos de ciclo semelhantes aos atuais.

Tabela 18 - Volumes e tempos do produto "C"

Ano	Volume	Dias de produção calendarizados	Procura diária	Takt Time (Seg)			Design Cycle Time (OE=95%)
				1 turno	2 turnos	3 turnos	
2017	107365	240	447	61,3	122,6	183,9	58,2
2018	74820	240	312	88,0	175,9	263,9	
2019	42668	240	178	154,2	308,5	462,7	
2020	33035	240	138	199,2	398,4	597,6	
2021	16116	240	67	408,3	816,7	1225,0	

Área - Plásticos

Relativamente à área dos plásticos foi necessário o dimensionamento de novos moldes para o *housing* e os *supports sensors*, sendo que as *sockets* continuam a ser produzidas sem alterações. As restantes peças plásticas continuariam como anteriormente a ser produzidas por fornecedores externos. Na Figura 71 podem ser observadas as peças produzidas na área dos plásticos.

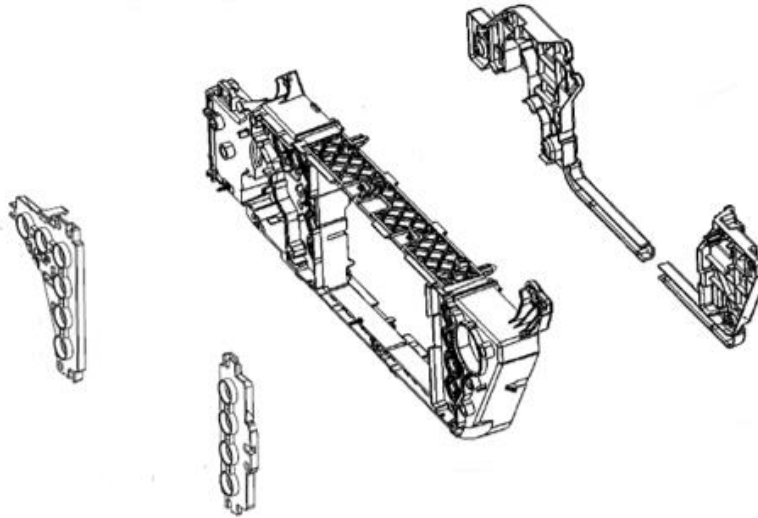


Figura 71 - Peças do produto "C" produzidas na área dos plásticos

Área - SMT

De forma semelhante aos outros produtos, as placas do produto "C", são marcadas através do processo de *laser marking*, tendo componentes programados através de *offline programming*, seguindo para as linhas de montagem automática para colocação de componentes. A alteração para a nova versão implicou PCB's, que embora tenham as mesmas dimensões, possuem um layout elétrico e componentes diferentes e, portanto, implica alterações ao processo. O fluxo produtivo na área de SMT pode ser observado na Figura 72.

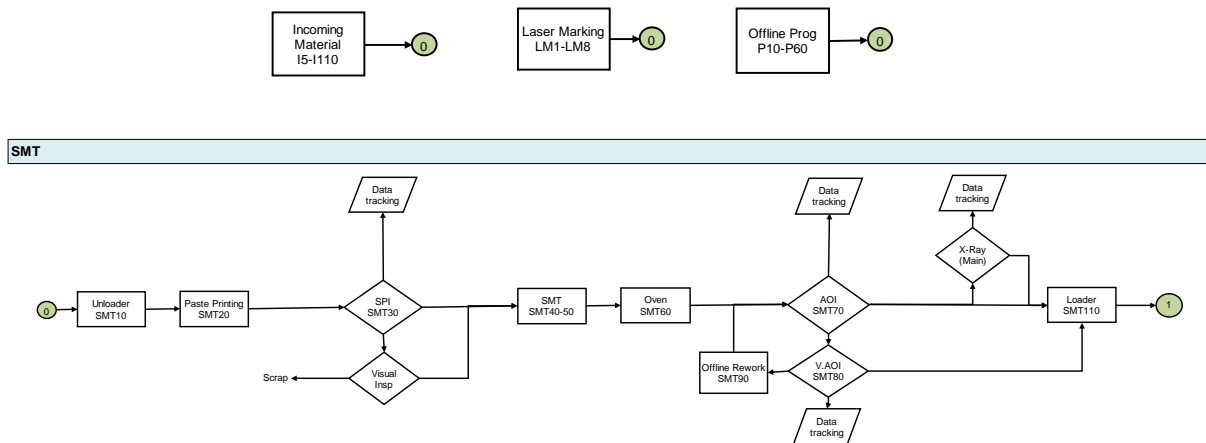


Figura 72 - Fluxo produtivo do produto "C" na área de SMT

Área - CBA

Na área de CBA as placas são sujeitas ao teste de circuito, para garantir a correta colocação de todos os componentes, e de seguida, os *arrays* de placas são separados em placas individuais através do processo de *depanelling* (Figura 73).

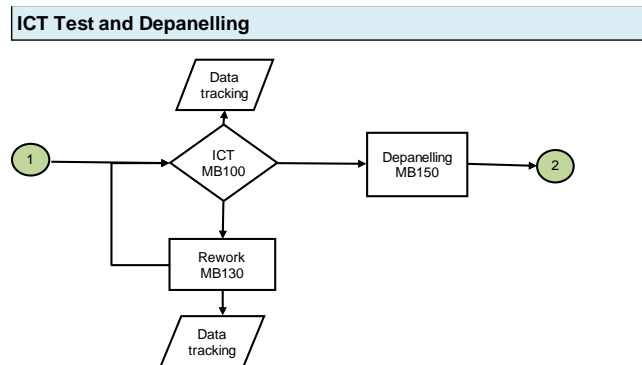


Figura 73 - Fluxo produtivo do produto "C" na área de CBA

Área – Montagem Final

Como anteriormente referido, um dos maiores desafios na implementação deste produto esteve relacionado com o facto de ser necessário trabalhar na sua implementação sem perturbar a normal produção do modelo anterior, mas ao mesmo tempo utilizar a linha de montagem final atual para a produção futura deste produto, tendo como objetivo atingir um tempo e ciclo similar.

O primeiro desafio esteve relacionado com a montagem das *sleeves* nos *supports* como se pode observar Figura 74.



Figura 74 - Support sleeves

Devido ao facto de o Produto "C" possuir várias configurações, com mais ou menos *sleeves*, consoante o número de botões a ativar no painel, será necessário colocar diferentes números e configurações de *sleeves* nos *supports*.

Desta forma há a necessidade de garantir que as *sleeves* são montadas corretamente, tendo sido a ideia inicial, sido realizar uma submontagem das *sleeves* num posto de trabalho separado e posteriormente colocar uma câmara para inspecionar e garantir que se utiliza os *supports* com a configuração correta de *sleeves*. Isto obriga ainda a que sejam criados diferentes números de peça para cada submontagem e stocks intermédios correspondentes.

Esta solução tornaria ainda complicado o balanceamento dos postos de trabalho uma vez que o conteúdo de trabalho seria bastante reduzido em relação a outros postos da linha e dos testes.

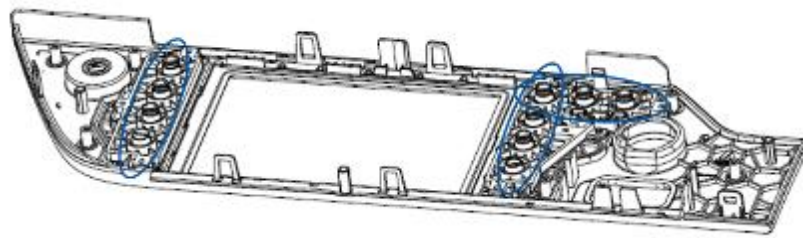


Figura 75 - Posição das *sleeves* e *support* na cover

De forma a analisar e comparar as possíveis soluções para a reconfiguração da montagem final do produto “C”, foram construídas diversas *Work Combination Table* com os diferentes cenários. É comparada a situação atual, com as hipóteses de realizar a montagem manual das *sleeves* na linha (Hipótese 1) e num posto de submontagem (Hipótese 2). Os resultados podem ser observados na Tabela 19 com o resumo.

Tabela 19 - Análise das hipóteses para reconfiguração da montagem final

Cenário	Posto de Submontagem	Posto 1	Posto 2	Posto 3
Situação Atual	NA	52,8	46,2	45,6
Hipótese 1	NA	65,4	42,6	45,6
Hipótese 2	22,2	55,8	Eliminado	51,6

Verifica-se que a hipótese 1 não cumpre com o *Takt Time* e existe um desbalanceamento significativo da linha, tendo o primeiro posto significativamente mais conteúdo de trabalho que os outros dois postos, no entanto a opção 2 implicaria criar números de peça novos, criando custos e logística adicionais ao processo. Optou-se por realizar as primeiras pré-séries de acordo com a hipótese 1 com a inserção manual das *sleeves* e com uma inspeção visual, para garantir a correta colocação e avaliar o funcionamento do processo e posteriormente trabalhar no balanceamento da linha.

Para permitir a passagem de conteúdo de trabalho, nomeadamente aparafusamento para o segundo posto, houve necessidade de criar um dispositivo de montagem igual ao do posto 1, representado na Figura 77.

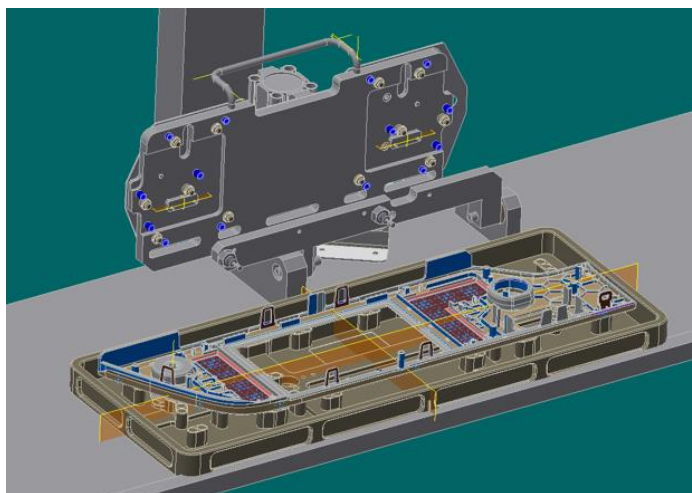


Figura 76 - Dispositivo criado para o posto de montagem 2

Relativamente ao Posto 3, aos testes e à embalagem final, não houve qualquer alteração ao conteúdo de trabalho nesta fase inicial. O fluxo produtivo na área de montagem final pode ser observado na Figura 77.

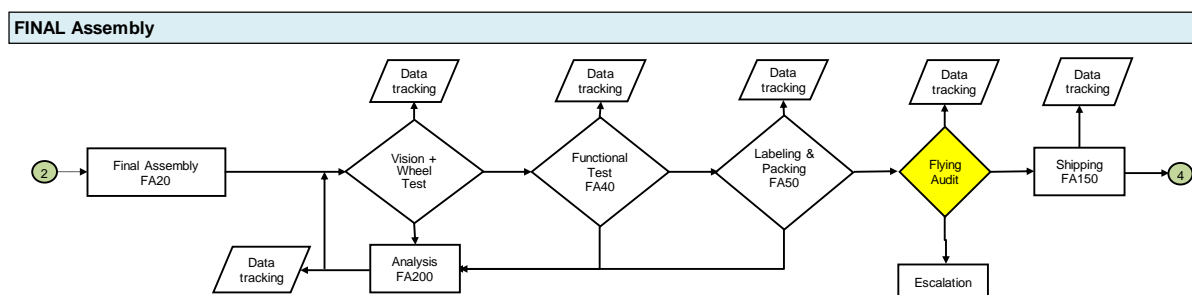


Figura 77 - Fluxo produtivo do produto "C" na área de montagem final

4.2.1.4 Análise das Pré séries e Melhorias

Ao trabalhar na redução do tempo de ciclo do posto 1 surgiu a ideia de criar uma prensa que garantiria duas funcionalidades fundamentais. Por um lado, garantiria a correta inserção dos *sleeves* nos suportes com a repetibilidade necessária e por outro lado poderia garantir que as *sleeves* são colocadas nos sítios certos de acordo com o produto que está a ser montado.

Assim, no início de produção do lote o sistema pede que seja lido um manifesto com indicação das quantidades e modelo a ser produzido. Este input de informação vai transmitir a informação para a prensa. A prensa indica ao operador através de leds onde deve colocar as *sleeves* e de seguida são prensados para a posição correta. A prensa com auxílio de sensores verifica a presença dos *sleeves* nas posições corretas e a altura de modo a garantir que foram corretamente inseridos.

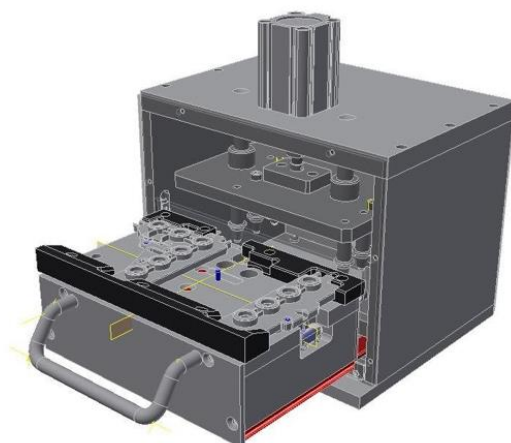


Figura 78 - Prensa do Produto "C"

A ideia de desenvolver uma prensa específica para a montagem das *sleeves* veio trazer imensos benefícios à montagem do aparelho. Por um lado, seria ergonomicamente exigente para o operador montar as *sleeves* manualmente e por outro lado, existiria uma possibilidade considerável de ser efetuada uma montagem incorreta das *sleeves*. Em termos económicos também foi a opção mais vantajosa, visto que não foi necessário criar novos números de peça para cada conjunto (menos stocks e gestão de materiais) e não foi necessário investir em sistemas de visão automáticos para confirmar o uso da peça correto. Foi ainda possível reduzir significativamente o tempo necessário para uma montagem correta das *sleeves*. Utilizando a prensa como método para a inserção dos *sleeves* procedeu-se à ao estudo do balanceamento dos postos, obtendo os resultados finais que estão na Tabela 20.

Tabela 20 - Resultados do balanceamento dos postos de trabalho no produto "C"

Condição	Tempo Estimado	Pré-série 1	Pré-série 2	Pré-série 3	Pré série 4
			Dispositivo posto 2	Dispositivo posto 2 e Prensa posto 1	Configuração Final
Posto 1	65,4	66,4	56,4	46,4	45,8
Posto 2	42,6	39,6	47,6	45,6	45,6
Posto 3	45,6	45,6	45,0	44,5	45,5
Tempo de Ciclo	65,4	66,4	56,4	46,4	45,8

Inicialmente foram validados os tempos estimados para as operações a realizar. Na segunda pré-série foi implementado um dispositivo e uma aparafusadora no posto 2, de modo a transferir algum do conteúdo de trabalho do posto 1, nomeadamente aparafusamento. De seguida foi implementada a prensa das *sleeves* para garantir a correta inserção das mesmas, reduzindo ainda consideravelmente o tempo de inserção das mesmas, obtendo postos de trabalho nivelados e um tempo de ciclo de 45,8 segundos.

4.2.1.5 Avaliação do Sistema Produtivo

O processo produtivo foi validado internamente e avançou-se para a produção em série após a aprovação do processo feita pelo cliente. A implementação da prensa permitiu atingir o tempo de ciclo desejado, resolvendo também problemas ergonómicos e de qualidade. Foi atualizada toda a documentação de processo para a nova situação, incluindo as instruções de trabalho, planos de controlo e a respetiva comunicação ao cliente. De destacar que a implementação do novo sistema produtivo ocorreu sem que fosse necessário interromper a produção nenhum dia. Como a linha só trabalha no turno da manhã, foi possível executar todas as mudanças no turno da tarde. Isto só foi possível devido ao trabalho preparatório realizado e a uma execução bem coordenada e planeada das alterações.

Após uma nova análise dos volumes observou-se contudo uma descida dos volumes no ano seguinte, sendo também já estudada a situação futura contemplando uma redução para dois postos de montagem. Para tal utilizou-se o modelo interno da ferramenta A3 para estudar o problema de uma forma estruturada.

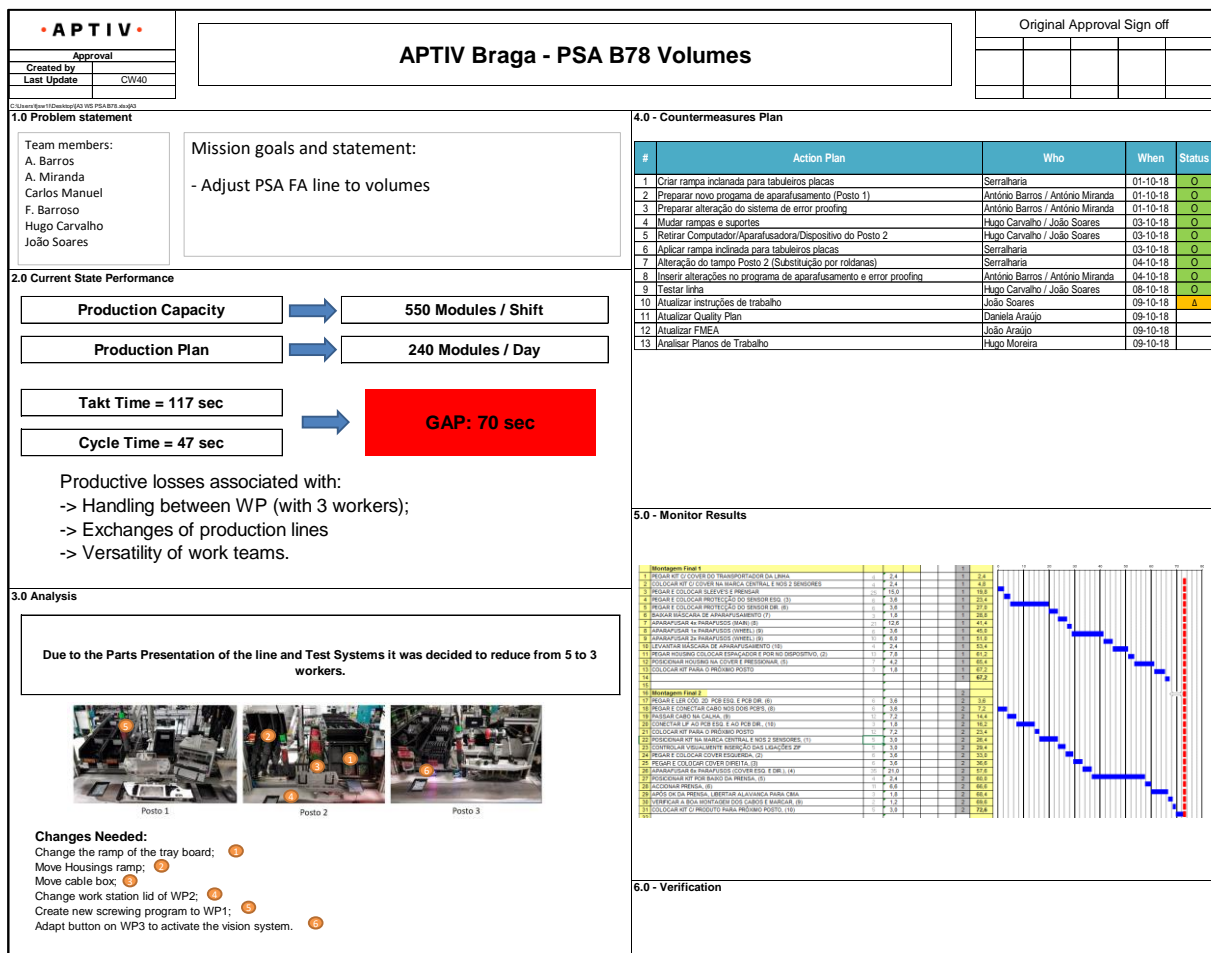


Figura 79 - Utilização de um A3 para estudar a redução de postos de trabalho

O resultado final da reestruturação dos postos de trabalho pode ser observado na Figura 81.



Figura 80 - Resultado final da redução dos postos de montagem do produto "C"

Com a reestruturação para dois postos de montagem foi possível passar a fazer a quantidade pretendida de aparelhos com menos 2 operadores, em condições ergonómicas adequadas, ocupando a equipa de produção durante o turno de produção completo.

4.4 Transferências da produção de produtos

Esta secção irá abordar transferências realizadas para a fábrica de Braga. As transferências de produtos entre fábricas podem ter diferentes motivos, tais como falta de capacidade de uma fábrica em particular, otimização geográfica de modo a reduzir custos logísticos, encerramento de fábricas ou requisitos específicos dos clientes. Neste caso particular, a transferência do produto "D" deveu-se a questões relacionadas com o encerramento de uma unidade de produção na Europa e a consequente transferência dos produtos existentes para fábrica de Braga.

Em relação ao produto "E" a transferência está relacionada por um lado com questões geográficas, nomeadamente pela proximidade da fábrica de Braga a fábricas do cliente e, por outro lado, com as

exigências e política do cliente, que queria ver o volume total deste produto dividido entre diversas fábricas como medida preventiva estabelecendo limites de volume às unidades de produção.

4.4.1 Produto “D”

Tal como para os anteriores produtos estudados, para estes também se usou a mesma metodologia, seguindo as mesmas etapas explicadas detalhadamente de seguida.

4.3.1.1 Introdução

O produto “D” é um novo tipo de produto para a Braga, dentro da gama de *Electronic Controls*, já existente há bastante tempo na APTIV, mais concretamente na unidade de produção de ST-Aubin, França. Este produto está em produção desde 2003. Em 2017 começou o processo de transferência deste produto para a fábrica de Braga em diferentes fases ao longo de um ano, sendo a transferência apenas concluída em 2018. O processo de transferência foi complexo e aconteceu em diferentes fases que serão detalhadas mais à frente.

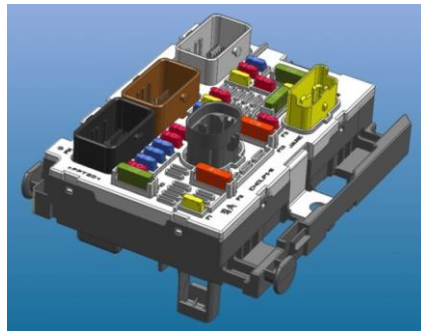


Figura 81 - Produto “D”

Os produtos da gama de *Electronic Controls* são bastante interessantes, uma vez que são caracterizados por volumes elevados e uma duração longa, o que faz com que qualquer melhoria no projeto tenha grande impacto.

O produto “D” é um módulo com várias funcionalidades de proteção e controlo de funções básicas do automóvel.

4.3.1.2 Análise do Produto

O produto “D” é constituído por dois PCB's, unidos entre si por conectores que são inseridos através do processo de *Press-Fit*, um processo novo para a fábrica de Braga. Os PCB's estão inseridos numa caixa de plástico e são protegidos através de um processo chamado *Potting*, que também não existia na fábrica de Braga.

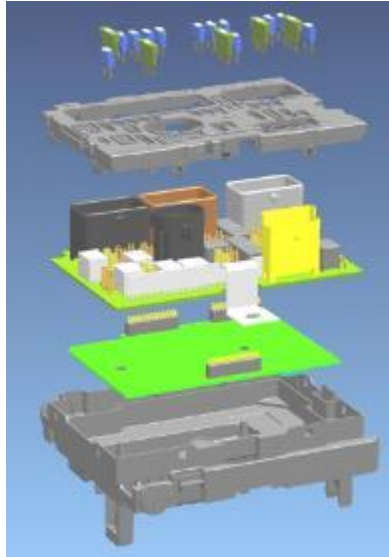


Figura 82 - Vista explodida do produto "D"

O produto "D" possui dois modelos com diferenças significativas, o modelo "D1" e o modelo "D2". O modelo "D1" possui por sua vez cinco versões e o modelo "D2", oito versões. Na Figura 83 pode-se observar um exemplar do produto "D1" e um exemplar do produto "D2". Os dois modelos possuem, como referido, diferenças significativas entre si que obrigam a ferramentas específicas e a ter em conta particularidades na sua produção.

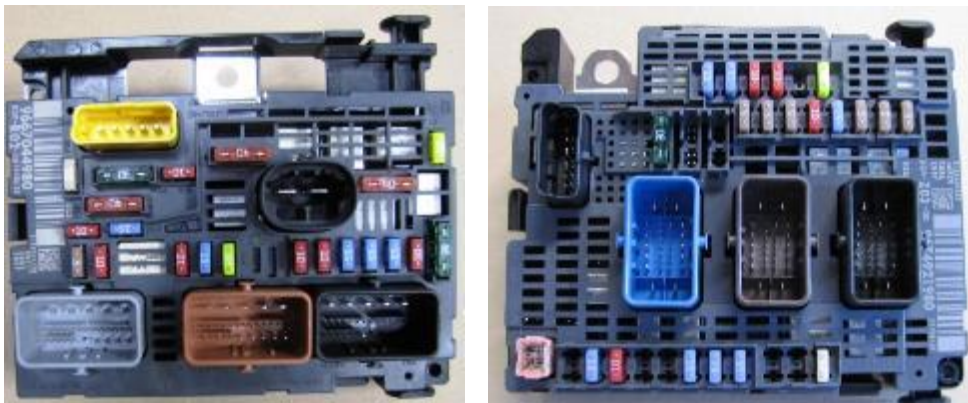


Figura 83 - Produto "D1" e "D2"

4.3.1.3 Dimensionamento do Sistema Produtivo

A implementação do sistema produtivo do produto "D" foi extremamente complexa e alongou-se por mais de um ano até estar completamente concluída. A complexidade advém do facto de implementar processos novos, uma nova gama de produtos, aliado à transferência de equipamentos de outra fábrica no estrangeiro, com a particularidade de não por em causa as entregas ao cliente durante todo o processo de transferência. Na Figura 85 é possível observar o fluxo produtivo do produto "D".

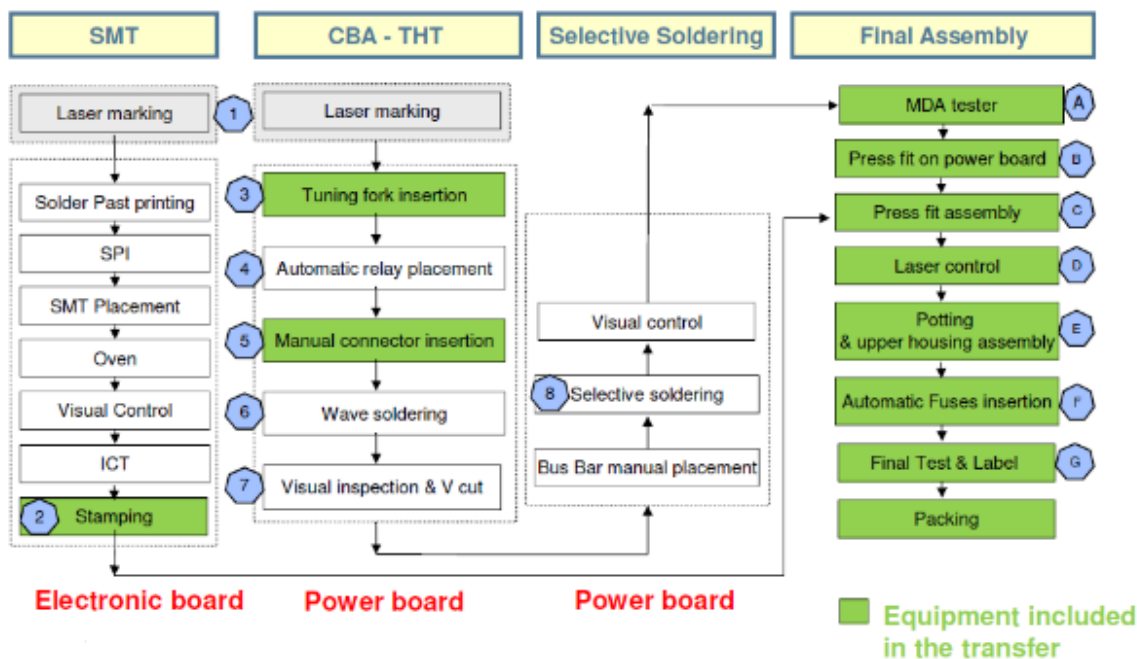


Figura 84 - Processo produtivo do produto "D"

Tal como nos produtos anteriores, começou por se fazer uma análise aos volumes previstos, calculando o *Takt Time*, de modo a dimensionar o sistema produtivo, como pode ser observado na Tabela 21 e na Tabela 22.

Tabela 21 - Volumes e tempos do produto "D1"

Ano	Volume	Dias de produção calendarizados	Procura diária	Takt Time (Seg)			Design Cycle Time (OE=95%)
				1 turno	2 turnos	3 turnos	
2017	140064	70	2001	13,7	27,4	41,1	13,0
2018	252669	240	1053	26,0	52,1	78,1	
2019	49805	240	208	132,1	264,3	396,4	
2020	37751	240	157	174,3	348,6	523,0	

Tabela 22 - Volumes e tempos do produto "D2"

Ano	Volume	Dias de produção calendarizados	Procura diária	Takt Time (Seg)			Design Cycle Time (OE=95%)
				1 turno	2 turnos	3 turnos	
2018	399778	240	1666	16,5	32,9	49,4	31,3
2019	82757	240	345	79,5	159,0	238,6	
2020	57936	240	241	113,6	227,2	340,8	

Dado que grande parte dos equipamentos têm um tempo de ciclo de cerca de 30 segundos para duas peças, optou-se por tentar dimensionar os processos para que seja possível produzir num futuro, o

produto “D1” e “D2” apenas numa linha, tendo em conta também que os volumes de ambos os produtos tendem a decrescer.

Área - SMT

A transferência gradual do processo produtivo do Produto “D” envolveu várias fases. Iniciou-se o processo com a transferência do produto “D1”. A primeira fase consistiu em produzir parte do volume total das placas eletrónicas em SMT e enviá-las para a outra fábrica. Para tal foi necessário implementar todos os processos relacionados com SMT. Depois de produzidas em SMT as placas foram testadas e enviadas para a fábrica de França em caixas e blisters dimensionados para o efeito, como pode ser observado na seguinte figura.



Figura 85 - Método de transporte das placas eletrónicas do produto "D"

Para finalizar a primeira fase e após aprovação do processo, a fábrica de Braga assumiu o volume total de placas eletrónicas, possibilitando o *shut-down* das linhas de SMT na outra fábrica.

Área - CBA

A segunda fase do processo contemplou a produção da *Power Board*, em CBA. Esta fase envolveu alguns desafios, dado que na fábrica da França este processo era completamente automatizado, mas na fábrica de Braga teria de ser realizado manualmente. Este processo revelou-se assim complexo, devido à impossibilidade de transferir a linha de montagem automática, porque não era possível parar completamente a produção e porque a mesma requeria manutenções exigentes aquando da transferência, o que não era possível. Assim foi necessário adaptar o processo de montagem da *Power Board* para montagem manual como será descrito de seguida.

A primeira fase da produção da *Power Board* contempla a inserção de pinos que irão fazer o contacto com os fusíveis que serão inseridos na montagem final. Este processo denominado “*Stitching*” também não existe na fábrica de Braga. Para tal foi transferido um equipamento que permite fazer esta inserção como mostra a Figura 87.



Figura 86 - Inserção de pinos na Power Board

A segunda fase envolve a colocação de componentes na placa e a soldadura por onda. Para tal foi necessário desenhar paletes de soldadura específicas para a *Power Board* do produto "D". Como referido anteriormente, o processo de colocação de componentes na outra fábrica era realizado com máquinas de inserção automáticas, sendo, portanto, necessário adaptar a montagem para trabalho manual. Para tal recorreu-se novamente à *Work Combination Table*, de modo a quantificar o conteúdo de trabalho e distribuir o mesmo pelos postos de trabalho necessários para atingir o tempo de ciclo pretendido. O resumo dos tempos estimados por posto está definido na Tabela 23.

Tabela 23 - Distribuição do conteúdo de trabalho do produto "D" em CBA

Posto 1	Motions	Segundos
PEGAR PLACA 1 E LER CÓDIGO 2D	5	3,0
COLOCAR PLACA 1 NA PALETE	2	1,2
PEGAR PLACA 2 E LER CÓDIGO 2D	5	3,0
COLOCAR PLACA 2 NA PALETE	2	1,2
PEGAR E COLOCAR 3 RELÉS (53ND10-Y-HW) NA PLACA 1	9	5,4
REPETIR TAREFA ANTERIOR PARA A PLACA 2	9	5,4
PEGAR E COLOCAR 2 RELÉS (68NW-2H) NA PLACA 1	6	3,6
REPETIR TAREFA ANTERIOR PARA A PLACA 2	6	3,6
PASSAR PALETE PARA O PRÓXIMO POSTO	3	1,8

Total	28,2
--------------	-------------

Posto 2	Motions	Segundos
PEGAR E COLOCAR 3 RELÉS (53ND10-Y) NA PLACA 1	9	5,4
REPETIR TAREFA ANTERIOR PARA A PLACA 2	9	5,4
PEGAR E COLOCAR 4 RELÉS (51ND10-W1) NA PLACA 1	12	7,2
REPETIR TAREFA ANTERIOR PARA A PLACA 2	12	7,2
PASSAR PALETE PARA O PRÓXIMO POSTO	3	1,8

Total	27,0
--------------	-------------

Posto 3	Motions	Segundos
PEGAR E INSERIR CONECTOR 1 NA PLACA 1	4	2,4
PEGAR E INSERIR CONECTOR 1 NA PLACA 2	4	2,4
PEGAR E INSERIR CONECTOR 2 NA PLACA 1	4	2,4
PEGAR E INSERIR CONECTOR 2 NA PLACA 2	4	2,4
PEGAR E INSERIR CONECTOR 3 NA PLACA 1	4	2,4
PEGAR E INSERIR CONECTOR 3 NA PLACA 2	4	2,4
PEGAR E INSERIR CONECTOR 4 NA PLACA 1	4	2,4
PEGAR E INSERIR CONECTOR 4 NA PLACA 2	4	2,4
PEGAR E INSERIR CONECTOR 5 NA PLACA 1	4	2,4
PEGAR E INSERIR CONECTOR 5 NA PLACA 2	4	2,4
PASSAR PALETE PARA O PRÓXIMO POSTO	3	1,8
Total		25,8

As placas do produto “D” permitem diversas inserções de acordo com a versão do produto que se está a produzir. Para garantir que os componentes foram colocados corretamente foi instalado um sistema de visão automático. Assim, o sistema de visão lê o código 2d do produto, identificando a versão que se está a produzir e de seguida verifica que todos os componentes estão presentes nos sítios corretos.

De seguida as placas com componentes seguem para o processo de soldadura por onda, que posteriormente é verificada pelo operador e pela AOI, como é standard nesta área.

A *Power Board* do produto “D” possui a particularidade de possuir um componente que não permite a soldadura por onda, porque parte do componente fica num nível inferior ao da placa, tendo sido, portanto, necessário recorrer á Soldadura Seletiva, também chamada soldadura por pontos. Para terminar, é realizado o teste ICT para garantir o bom funcionamento da *Power Board*. O conjunto de *Electronic Boards* é também testado com ICT e de seguida é separado com um equipamento de *stamping*, através da aplicação de uma determinada força em pontos específicos Figura 87.

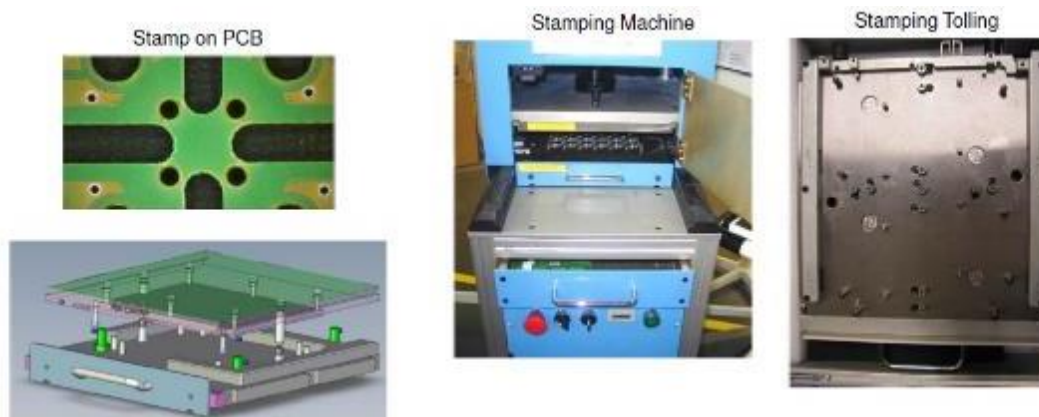


Figura 87 - Separação dos *arrays* de PCB's

Desta forma ambas as placas ficam prontas para serem utilizadas no produto, seguindo para montagem final.

Área – Montagem Final

O último passo na implementação do produto “D1” consistiu na transferência e instalação da linha de montagem final do produto “D1”. Uma das duas linhas de montagem presentes na outra fábrica foi desmontada, transferida e instalada na fábrica de Braga.

O primeiro processo passa por inserir conectores através de um equipamento de *press-fit* na *Power Board*. De seguida a *Electronic Board* é inserida na *Power Board* com os conectores através de outro equipamento de *press-fit* formando um conjunto. O *Design Cycle Time* que se calculou anteriormente é de 13 segundos (26 segundo / 2 peças) e o conteúdo de trabalho total antes do processo de *potting* é de 45 segundos (2 lugares), sendo que se optou por utilizar uma abordagem semelhante à outra fábrica onde existia um operador por cada equipamento de *press-fit* como é demonstrado na Tabela 24.

Tabela 24 - Distribuição do conteúdo de trabalho do produto "D" nos postos de *press-fit*

Posto 1	Motions	Segundos
Pegar 6x conetor e colocar nas ranhuras da gaveta do press-fit	12	7,2
Pegar 2x placa Power e colocar na gaveta do press-fit	8	4,8
Fechar gaveta para acionar press-fit	2	1,2
Retirar placas da gaveta do press-fit e colocar na base intermedia	8	4,8
Total		18,0

Posto 2	Motions	Segundos
Pegar 2x placa eletrônica e colocar na gaveta do press-fit	8	4,8
Pegar 2x placa power e colocar na gaveta do press-fit	8	4,8
Fechar gaveta para acionar press-fit	2	1,2
Pegar 2x conjunto e colocar na gaveta do laser-test	8	4,8
Fechar gaveta para acionar laser-test	2	1,2
Pegar 2x housing e colocar na paleta intermedia	4	2,4
Retirar 2x conjunto da gaveta do laser-test e colocar no housing	5	3
Pegar 2x housing com conjunto e colocar na paleta do conveyor	6	3,6
Pressionar botão para avançar paleta	2	1,2
Total		27,0

Como pode ser facilmente observado existe um desbalanceamento teórico entre os dois postos que vai provocar esperas do operador do primeiro posto. Como funcionava desta forma na outra fábrica e era necessário comprovar na prática estes tempos, optou-se por provisoriamente trabalhar da forma referida anteriormente.

De seguida o operador coloca o conjunto no *housing* onde será dispensado uma mistura de dois componentes através de uma máquina de *potting*, que irá preencher a superfície, ficando apenas visíveis os conectores e os pinos onde serão inseridos fusíveis. Esta mistura de componentes irá solidificar e isolar completamente as placas de agressões ambientais. Depois de dispensados os materiais é inserida a tampa e o material precisa de cerca de 15 minutos para solidificar antes de poderem ser inseridos os fusíveis. Isto é garantido através de um buffer, que liberta os produtos automaticamente 15 minutos depois.

Para terminar a montagem do produto “D”, é necessário inserir os fusíveis de acordo com a versão do produto a produzir. Neste caso não houve possibilidade de transferir o equipamento que fazia a inserção automática dos fusíveis, sendo, portanto, necessário criar as condições necessárias para fazer a montagem manual.

O primeiro passo foi quantificar o conteúdo de trabalho para saber quantos postos de trabalho seria necessário instalar. Foi escolhida a versão *highrunner* para calcular a quantidade de postos de trabalho. Para facilitar o trabalho do operador, os fusíveis da mesma cor serão agrupados no mesmo posto de trabalho. Desta forma, chegou-se à distribuição apresentada na Tabela 25.

Tabela 25 - Distribuição do conteúdo de trabalho montagem de fusíveis

Posto 3	Motions	Segundos
Pegar e inserir 3x fusíveis 30 (Verde)	15	9,0
Pressionar 3x fusíveis 30 (Verde)	15	9,0
Pegar e inserir 2x fusíveis 40 (Laranja)	10	6
Pressionar 2x fusíveis 40 (Laranja)	10	6

Total	30,0	
--------------	-------------	--

Posto 4	Motions	Segundos
Pegar e inserir 5x fusíveis 15 (Azuis)	15	9,0
Pegar e inserir 5x fusíveis 15 (Azuis)	15	9,0
Pegar e inserir 2x fusíveis 20 (Amarelos)	6	3,6
Pegar e inserir 2x fusíveis 20 (Amarelos)	6	3,6
Pegar e inserir 1x fusíveis (Castanho)	3	1,8
Pegar e inserir 1x fusíveis (Castanho)	3	1,8

Total	28,8	
--------------	-------------	--

Posto 5	Motions	Segundos
Pegar e inserir 7x fusíveis 10 (Vermelhos)	21	12,6
Pegar e inserir 7x fusíveis 10 (Vermelhos)	21	12,6
Pegar e inserir 1x fusíveis 25 (Branco)	3	1,8
Pegar e inserir 1x fusíveis 25 (Branco)	3	1,8

Total	28,8	
--------------	-------------	--

De seguida foi necessário criar os lugares de montagem para a inserir os fusíveis. Foi encomendado um *conveyor* com três postos de trabalho que permite o retorno das paletes onde estão inseridos os produtos como demonstra a Figura 88 .

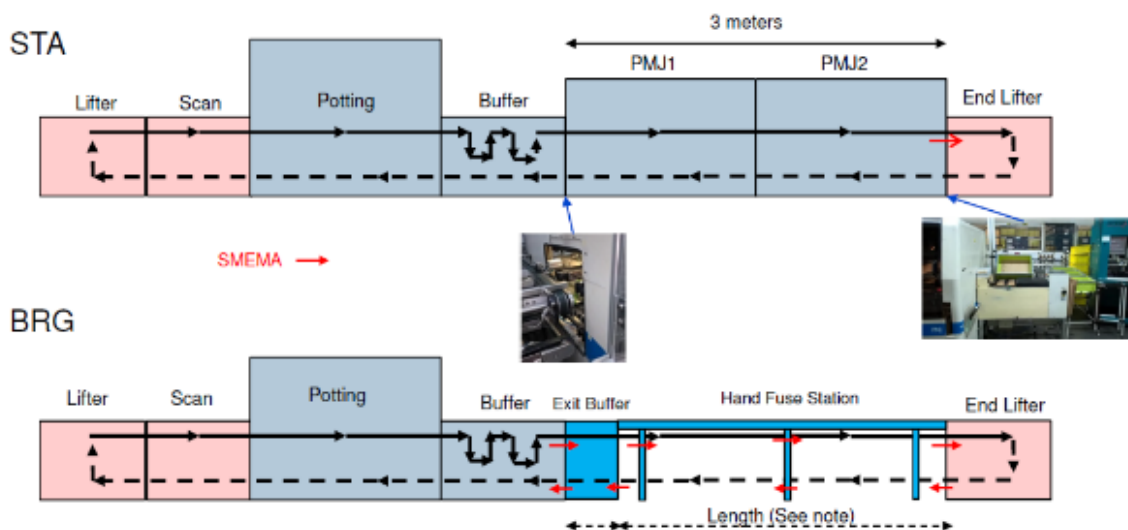


Figura 88 - Linha de automática vs linha manual

Para finalizar a montagem os fusíveis têm de ser prensados para garantir que estão corretamente inseridos. Para tal, foi criada uma prensa com uma ferramenta específica para o produto “D1”. A distribuição do conteúdo de trabalho pode ser observada na Tabela 26.

Tabela 26 - Distribuição do conteúdo de trabalho da prensa de fusíveis

Posto 6	Motions	Segundos
Pegar conjunto e colocar na prensa de fusíveis	3	1,8
Fechar gaveta e esperar atuação	5	3
Abrir gaveta e pegar no conjunto	3	1,8
Retirar mascara e colocar na rampa na posição horizontal	3	1,8
Realizar controlo à distância entre conetores e os fusíveis	5	3
Colocar a peça na caixa	3	1,8
Pegar conjunto e colocar na prensa de fusíveis	3	1,8
Fechar gaveta e esperar atuação	5	3
Abrir gaveta e pegar no conjunto	3	1,8
Retirar mascara e colocar na rampa na posição horizontal	3	1,8
Realizar controlo à distância entre conetores e os fusíveis	5	3
Colocar a peça na caixa	3	1,8
Carregar no botão para avançar palete	2	1,2
Total		27,6

Depois de inseridos o produto está finalizado, tendo de esperar cerca de 30 minutos, de modo a completar a cura do *potting* para poder ser submetido aos testes finais. Foi criada uma rampa com a capacidade para 30 minutos de produção, que equivale a cerca de 100 aparelhos, para funcionar de buffer entre a montagem e os testes, respeitando o FIFO. No final do processo os produtos são submetidos a um teste funcional que verifica que o produto está corretamente montado e funcional, sendo de seguida embalados.

4.3.1.4 Análise e melhoria das Pré séries

Durante as pré-séries do produto “D” foram identificadas e implementadas diversas melhorias e superados diversos desafios relacionados com a sua produção que serão apresentados de seguida.

Na área de CBA, mais concretamente na montagem manual dos elementos na *Power Board*, o principal desafio consistiu na apresentação dos materiais aos operadores. Os materiais a inserir na *Power Board* são diversos tipos de relés e conectores. Para o efeito foram criados dispositivos que facilitam as operações e apresentam os materiais sempre da mesma forma, tal como pode ser observado na Figura 89.



Figura 89 - Dispositivos para abastecimento para o produto "D" em CBA

A implementação dos dispositivos de montagem, assim como a formação no posto de trabalho dos operadores, permitiu a redução do tempo de ciclo da montagem, permitindo a reconfiguração da montagem para dois postos de trabalho. A Tabela 27 apresenta a distribuição do conteúdo de trabalho atualizada.

Tabela 27 - Evolução dos tempos de ciclo na montagem de CBA

	Tempo Estimado	Pré-série 1	Pré-série 2	Pré-série 3	Pré-série 4
			Dispositivos	Redução para 2 postos	Configuração Final
Posto 1	28,2	27,3	17,3	29,6	27,9
Posto 2	27,0	26,6	19,2	27,0	27,7
Posto 3	25,8	23,5	19,5		
Tempo de Ciclo	28,2	27,3	19,5	29,6	27,9

Como é possível verificar, obteve-se tempos aproximados aos teóricos na primeira pré-série. Com a introdução dos dispositivos conseguiu-se uma redução do tempo de ciclo significativa, tendo-se de seguida reconfigurado a montagem da *Power Board* para dois postos, balanceando os mesmos, obtendo um tempo de ciclo de 27,9 segundos com dois operadores.

Na área da montagem final foi constatado que não é possível reduzir o tempo de ciclo do equipamento de *potting*, dado que poderia representar riscos de qualidade para o produto. Tendo em conta o tempo de ciclo de 30 segundos do processo de *potting*, foi analisado novamente o conteúdo de trabalho da linha para proceder a uma nova distribuição.

Nos postos anteriores ao processo de *potting* verificaram-se tempos de 18 e 27 segundos, no primeiro e no segundo posto respetivamente. Desta forma, surgiu a oportunidade de aproveitar o tempo disponível nestes postos para integrar o conteúdo de trabalho do *punching*, realizado em CBA, na montagem final. O conteúdo de trabalho revisto do posto 1 e posto 2 está descrito na Tabela 28 .

Tabela 28 - Conteúdo de trabalho revisto dos postos 1 e 2

Posto 1	Motions	Segundos
Pegar 6x conetor e colocar nas ranhuras da gaveta do press-fit	12	7,2
Pegar 2x placa Power e colocar na gaveta do press-fit	8	4,8
Fechar gaveta para acionar press-fit	2	1,2
Retirar array de placa Eletronica do container	3	1,8
Colocar array na máquina de stamping	2	1,2
Fechar gaveta do stamping, esperar conclusão e abrir gaveta	10	6
Retirar plcas da gaveta do press-fit e colocar na base intermedia	8	4,8

Total	27,0
--------------	-------------

Posto 2	Motions	Segundos
Pegar 2x placa eletronica e colocar na gaveta do press-fit	8	4,8
Pegar 2x placa power e colocar na gaveta do press-fit	8	4,8
Fechar gaveta para acionar press-fit	2	1,2
Pegar 2x conjunto e colocar na gaveta do laser-test	8	4,8
Fechar gaveta para acionar laser-test	2	1,2
Pegar 2x housing e colocar na palete intermedia	4	2,4
Retirar 2x conjunto da gaveta do laser-test e colocar no housing	5	3
Pegar 2x housing com conjutno e colocar na palete do conveyor	6	3,6
Pressionar botão para avançar palete	2	1,2

Total	27,0
--------------	-------------

Desta forma foi possível eliminar a necessidade de um posto e um operador dedicados ao processo de *punching*, assim como *buffers* intermédios, aproveitando o tempo disponível dos operadores da montagem final.

Em relação à montagem de fusíveis foram criadas diversas máscaras para auxiliar neste processo. Estas máscaras apenas possuem aberturas nos locais onde a versão em questão deve possuir fusíveis (Figura 90).

Figura 90 - Protótipo de máscara de fusíveis de uma versão do produto "D"



Posteriormente foram ainda adicionadas cores às máscaras junto às aberturas para identificar que fusíveis são colocados em cada abertura, facilitando o trabalho dos operadores, tornando o processo de montagem mais simples, com menos defeitos e mais rápido.

Com esta melhoria e tendo em conta que o tempo de ciclo da linha está limitado pelo processo de *potting*, surgiu a possibilidade de realizar a montagem de fusíveis apenas com dois operadores, ficando o conteúdo de trabalho distribuído de acordo com a Tabela 29.

Tabela 29 - Conteúdo de trabalho revisto dos postos de montagem de fusíveis

Posto 3	Motions	Segundos
Pegar e inserir 3x fusíveis 30 (Verde)	9	5,4
Pressionar 3x fusíveis 30 (Verde)	9	5,4
Pegar e inserir 5x fusíveis 15 (Azuis)	10	6
Pegar e inserir 5x fusíveis 15 (Azuis)	10	6
Pegar e inserir 1x fusíveis (Castanho)	2	1,2
Pegar e inserir 1x fusíveis (Castanho)	2	1,2
Pegar e inserir 1x fusíveis 25 (Branco)	2	1,2
Pegar e inserir 1x fusíveis 25 (Branco)	2	1,2

Total		27,6
--------------	--	-------------

Posto 4	Motions	Segundos
Pegar e inserir 2x fusíveis 40 (Laranja)	6	3,6
Pegar e inserir 2x fusíveis 40 (Laranja)	6	3,6
Pegar e inserir 7x fusíveis 10 (Vermelhos)	14	8,4
Pegar e inserir 7x fusíveis 10 (Vermelhos)	14	8,4
Pegar e inserir 2x fusíveis 20 (Amarelos)	4	2,4
Pegar e inserir 2x fusíveis 20 (Amarelos)	4	2,4

Total		28,8
--------------	--	-------------

Com estas alterações a linha de montagem final ficou balanceada, obtendo-se melhorias significativas relacionadas em relação à situação inicial.

Na Figura 92 pode observar-se o layout final da linha de montagem final manual do produto “D1”.

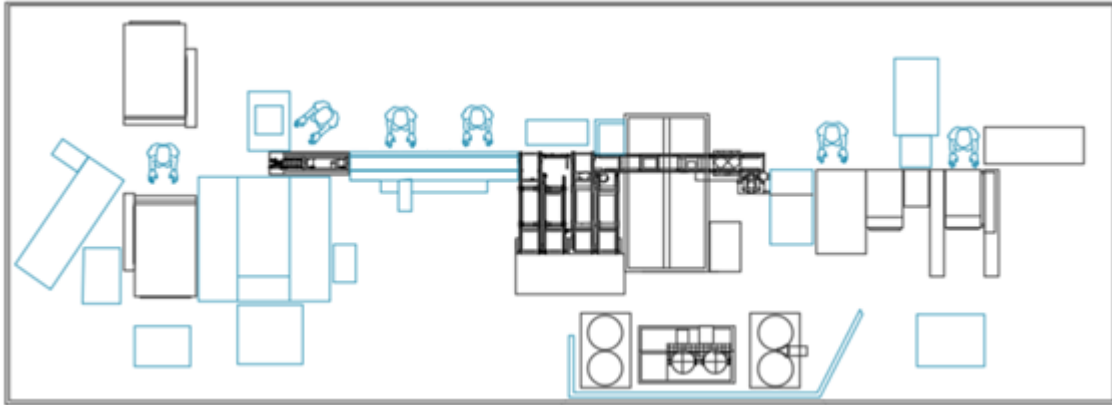


Figura 91 - Layout da linha de montagem final manual do produto "D1"

Realizada com sucesso a implementação do produto “D1” foi necessário também estudar a implementação do produto “D2”. Esta implementação ocorreu cerca de meio ano após a conclusão da implementação do produto “D1”. A transferência do produto “D2” contemplou a transferência de equipamentos automáticos de montagem de elementos em CBA e de montagem de fusíveis, que também permitem a produção do produto “D1”. No entanto, devido à criticidade deste produto para o cliente, não foi possível fazer a transferência dos equipamentos sem garantir que havia capacidade para produzir o produto “D2” em Braga com os equipamentos existentes. Assim, foram criadas todas as condições, seguindo a mesma abordagem do produto “D1”. Depois de implementado e validado o processo produtivo, foi autorizada a transferência dos equipamentos automáticos.

Devido à falta de espaço foi necessário considerar a instalação dos processos relacionados com o produto “D1” e “D2” numa área nova criada no edifício 2 e onde também seriam posteriormente instalados processos relacionados com o produto “E”, que será abordado no próximo capítulo. Desta forma foi desenvolvido o layout para os sistemas produtivos do produto “D” apresentado na Figura 92.

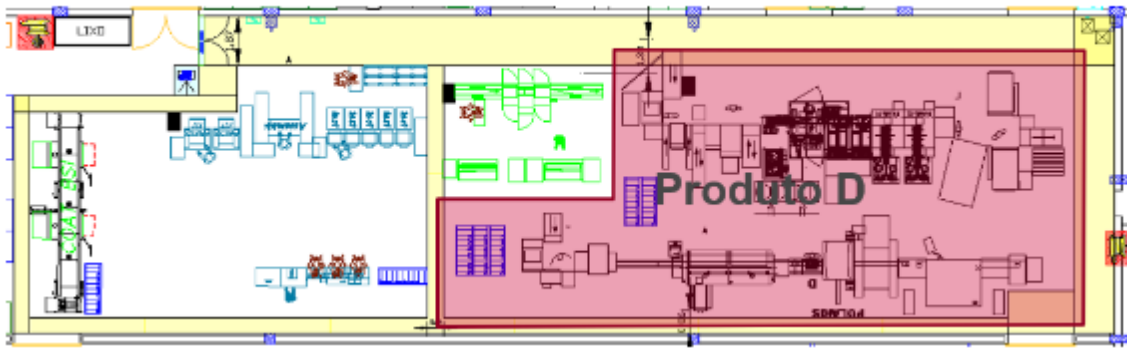


Figura 92 - Layout da área de produção nova dedicada ao Produto "D"

Com a implementação da linha de CBA e da nova linha de montagem final foi possível fazer o *shutdown* da linha de montagem final manual no edifício 1 libertando a área para novos projetos.

4.3.1.5 Avaliação do Sistema Produtivo

A transferência do Produto "D" e suas variantes representou, como foi apresentado, um desafio exigente em termos técnicos. Foi necessário implementar este produto num curto espaço de tempo e com diferenças significativas em termos de processo.

De destacar é claramente que o cliente não foi impactado por esta transferência e pelas alterações em termos de processo, não tendo havido registo de problemas relacionados com as entregas, quer em termos de quantidades ou qualidade do produto.

De destacar é também a implementação e a aprendizagem da fábrica relacionada com novos processos, tais como o *Punching, Stitching, Press-Fit* e *Potting*.

A implementação do produto "D", primeiro de um segmento novo para a fábrica de braga, os *Electronic Controls*, a aquisição de conhecimento em novos processos e o sucesso e resultados com que foi realizado, abriram caminho para a introdução de um novo produto desta gama que é apresentado na próxima secção.

4.4.2 Produto "E"

Esta secção apresenta o processo de introdução do produto "E", que também veio transferido, desta vez da Hungria. A metodologia seguida foi a mesma que para os produtos descritos nas secções anteriores.

4.3.2.1 Introdução

A transferência do produto "D" abriu portas para uma nova linha de produtos, que como referido anteriormente não era produzido em Braga. O produto "E" é uma versão mais recente do produto "D",

da gama de *Electronic Controls* que foi implementado em Braga (Figura 93). Este produto foi inicialmente implementado noutra fábrica da Aptiv e apenas posteriormente na Aptiv de Braga para repartir volumes por limitações do cliente e por questões logísticas.

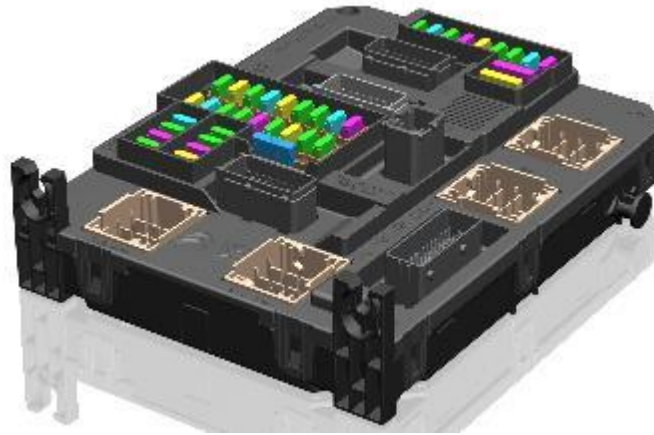


Figura 93 - Produto "E"

O produto "E" é um módulo de controlo do habitáculo, que pode dividir as suas funções em dois subconjuntos: um sistema que controla a maior parte das funções eletrónicas do carro (iluminação, visibilidade, armazenamento, proteção do compartimento de passageiros); um sistema de energia que distribui e protege falhas de energia no veículo (Função para a distribuição e proteção das fontes de alimentação dos componentes do compartimento de passageiros). Pode ainda suportar faróis, luzes de sinalização, limpa vidros, alimentação adicional e interfaces adicionais com sensores e atuadores do motor.

O produto "E" será enviado para diversas fábricas do cliente, nomeadamente, cinco localizações em três países. O volume esperado do projeto atinge de cerca de 4.5 milhões de unidades ao longo de 7 anos.

A implementação do produto foi planeada em várias fases. A primeira fase teve como objetivo atingir uma capacidade de 5.000 unidades por semana e a segunda fase teve como objetivo atingir uma capacidade de 15.000 unidades por semana. Na fase final o cliente pretende que a fábrica tenha uma capacidade instalada de 30.000 unidades por semana, sendo que esta fase, posterior, não será abordada na dissertação apesar de serem tecidos comentários para trabalhos futuros.

4.3.2.2 Análise do Produto

O produto "E" é constituído por dois PCB's, *Power Board* e *Electronic Board*, quatro conectores que ligam as duas placas, um *housing* e um *cover*. As placas seguem processos produtivos distintos que serão apresentados a seguir.

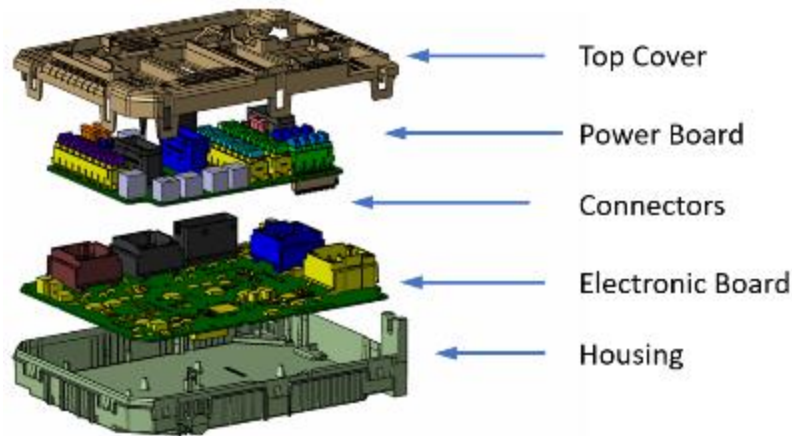


Figura 94 - Vista explodida do Produto "E"

Como se pode observar pela vista explodida, este produto é semelhante ao produto "D", sendo a principal diferença em termos produtivos o uso do processo de *selective coating*, já abordado no produto "A", em vez do processo de *potting* usado no produto "D".

4.3.2.3 Homogeneização do processo e dimensionamento do sistema produtivo

Sendo um produto transversal a várias fábricas existe a necessidade de homogeneizar certos aspetos do processo produtivo como alguns processos e equipamentos. Desta forma existem desde do início limitações na definição do processo, havendo no entanto melhorias introduzidas aquando da implementação deste novo projeto em Braga.

Nesta secção será detalhado o processo produtivo em cada uma das áreas da fábrica e a forma como foi implementado, com especial foco nas áreas de CBA e montagem final. O processo produtivo do produto "E" pode ser observado na Figura 95.

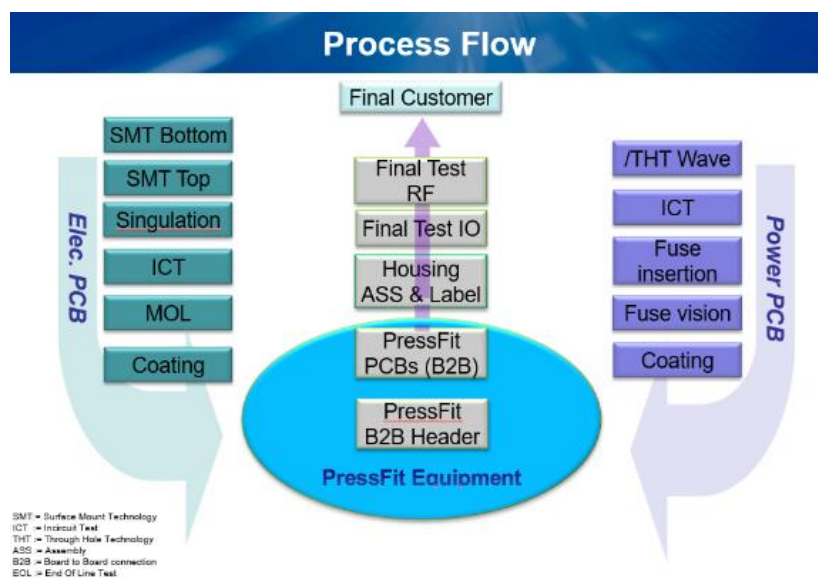


Figura 95 - Processo produtivo do produto "E"

Como referido anteriormente foi definido que se iria instalar a capacidade para os volumes pretendidos pelo cliente em três fases. Na Tabela 30 apresenta-se uma previsão dos volumes pretendidos pelo cliente assim como o *Takt Time* calculado para desenhar as várias fases do processo produtivo.

Tabela 30 - Volumes e tempos do produto "E"

Ano	Volume	Dias de produção calendarizados	Procura diária	Takt Time (Seg)			Design Cycle Time (OE=95%)
				1 turno	2 turnos	3 turnos	
2018	294257	240	1226	22,4	44,7	67,1	
2019	998453	240	4160	6,6	13,2	19,8	
2020	1584959	240	6604	4,2	8,3	12,5	11,8
2021	1388409	240	5785	4,7	9,5	14,2	
2022	1314117	240	5475	5,0	10,0	15,0	
2023	1237552	240	5156	5,3	10,6	16,0	
2024	1203165	240	5013,2	5,5	10,9	16,4	

Na Tabela 31 é calculado o *takt time* de acordo com saltos de capacidade que o cliente pretende ver instalados.

Tabela 31 - Saltos de capacidade do produto "E"

Procura Semanal	Procura diária	Takt Time (Seg)		
		1 turno	2 turnos	3 turnos
5000	1000	27,4	54,8	82,3
15000	3000	9,1	18,3	27,4
300000	6000	4,6	9,1	13,7

Devido aos volumes esperados do produto "E" e ao custo de investimento significativo dos equipamentos, optou-se por desenhar o processo produtivo para 3 turnos e com o mínimo de investimento possível em equipamento.

De seguida irá apresentar-se o trabalho realizado em cada uma das áreas produtivas da fábrica na implementação do Produto "E". O sistema produtivo foi dimensionado para a fase inicialmente ganha, de 5.000 unidade/semana. Posteriormente, depois de instalada a primeira e analisado o sistema produtivo, foi implementado um conjunto de melhorias para a capacidade de 15.000 unidades/semana, que será abordada de seguida. Por fim é feita uma análise do cenário para os volumes finais de 30.000 unidades/semana.

Área - SMT

Como referido anteriormente o produto "E" é constituído por dois PCB's que possuem processos produtivos diferentes, a *Electronic Board* e a *Power Board*. A *Electronic Board* é montada em SMT, através

das linhas de montagem automática e a *Power board*, montada na área de CBA através da montagem manual de componentes e soldadura por onda.

O processo inicia com *laser marking* dos dois PCB's e de seguida a *Electronic Board* segue para a montagem automática, sendo depois cortada através do processo de singulação, testada em ICT e programada com recurso a um equipamento de MOL (*Middle of Line Programming*)

Os processos de *laser marking*, SMT, singulação e ICT/MOL são processos, como já referido e descrito, standard na empresa e os seus equipamentos são partilhados entre os vários produtos, não sendo de interesse abordá-los novamente.

Área - CBA

A *Power Board*, depois de gravados os códigos, segue para a área de CBA, onde os seus componentes são montados manualmente antes de serem soldados através da soldadura por onda. Para o efeito foram encomendadas paletes de soldadura e calcadores, para manter os componentes nos lugares durante a soldadura, à semelhança da outra fábrica que produz o produto "E" (Figura 96).



Figura 96 - Palletes de soldadura e calcador do produto "E"

Foi necessário dividir o conteúdo de trabalho da montagem e criar os respetivos postos de trabalho para a montagem da *Power Board*, dando origem à distribuição presente na Tabela 32.

Tabela 32 - Distribuição do conteúdo de trabalho na área de CBA

Posto 1	Motions	Segundos
Pegar placa 1 e ler código 2D	5	3,0
Colocar placa 1 na palletes	3	1,8
Pegar placa 2 e ler código 2D	5	3,0
Colocar placa 2 na palletes	3	1,8
Pegar e colocar 8 díodos na placa 1	24	14,4
Repetir tarefa anterior para a placa 2	24	14,4
Passar palletes para o próximo posto	2	1,2
Total		39,6

Posto 2	Motions	Segundos
Pegar e colocar 9 relés na placa 1	27	16,2
Pegar e colocar 9 relés na placa 2	27	16,2
Pegar e colocar 2 conetor na placa 1	6	3,6
Repetir a tarefa anterior para a placa 2	6	3,6
Passar palete para o próximo posto	2	1,2

Total	40,8
--------------	-------------

Posto 3	Motions	Segundos
Pegar e colocar 9 conetores na placa 1	27	16,2
Repetir tarefa anterior para a placa 2	27	16,2
Pegar e colocar calcador na palete	10	6,0
Passar palete para o próximo posto	2	1,2

Total	39,6
--------------	-------------

Foi ainda necessário criar diversos dispositivos para abastecer os materiais aos operadores de uma forma eficiente. Para o efeito foram criados dispositivos para cada tipo de material (diodos, relés e conectores) que é montado na *Power Board* manualmente (Figura 97).



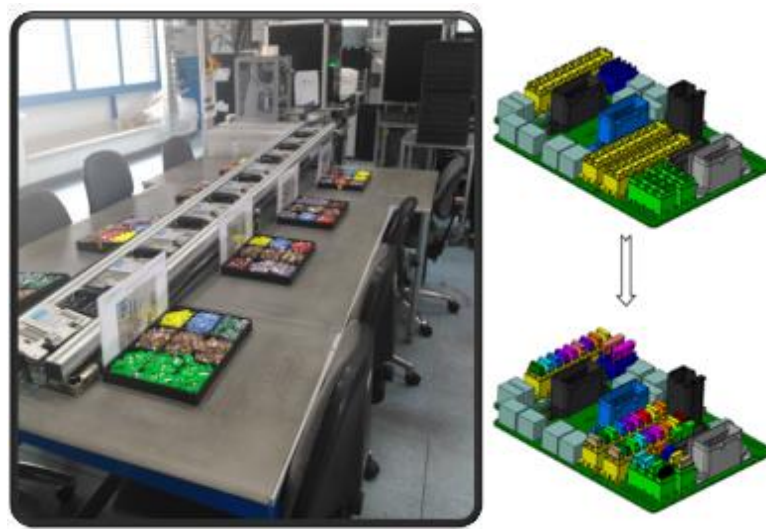
Figura 97 - Dispositivos de abastecimento de material para a área de CBA

No final do processo de soldadura por onda, as placas são retiradas da palete e imediatamente inspecionadas visualmente por um operador de modo a garantir feedback à linha no caso de alguma ocorrência. De seguida as placas são testadas na AOI, para verificar a soldadura, e no ICT, para garantir o correto funcionamento da placa.

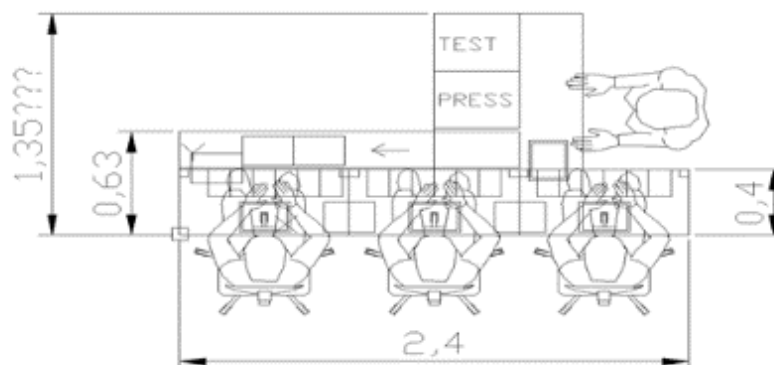
O próximo passo consiste na pré-inserção manual dos fusíveis na *Power Board*. As *Power Boards* são colocadas numa base para dar estabilidade ao PCB e é colocada uma máscara com indicação dos

fusíveis a colocar de acordo com o modelo. De seguida operadores colocam os fusíveis indicados pela máscara sendo depois prensadas automaticamente para garantir a altura correta e pressão adequada.

Por fim, as placas são inspecionadas por um sistema de visão automático para garantir que não houve erros na colocação de fusíveis. Para a colocação de fusíveis na *Power Board* foram utilizadas as mesmas bases e *templates* que na outra fábrica da APTIV, no entanto, com a mudança de conceito. Na outra fábrica da APTIV o mesmo operário monta todos os fusíveis na *Power Board*. Em Braga optou-se por fazer a divisão do conteúdo de trabalho e trabalhar num conceito de *one-piece-flow*, sendo que, cada operador apenas coloca determinados fusíveis numa placa e de seguida passa a base com a placa para o posto seguinte. Na Figura 98 pode-se observar a diferença de conceitos de montagem.



Conceito existente



Novo conceito

Figura 98 - Conceito existente VS novo conceito de montagem de fusíveis

Como vantagens no método implementado pode referir-se um maior controlo de qualidade, uma sequência bem definida, *change overs* mais rápidos, maior normalização do trabalho e um maior controlo do processo.

No final da montagem dos fusíveis o *carrier* com a *Power Board* é colocado numa prensa automática, que insere os fusíveis à altura correta. De seguida é removida a placa e colocada num equipamento de inspeção que verifica que todos os fusíveis estão presentes e corretamente inseridos de acordo com a versão do produto (Figura 99).

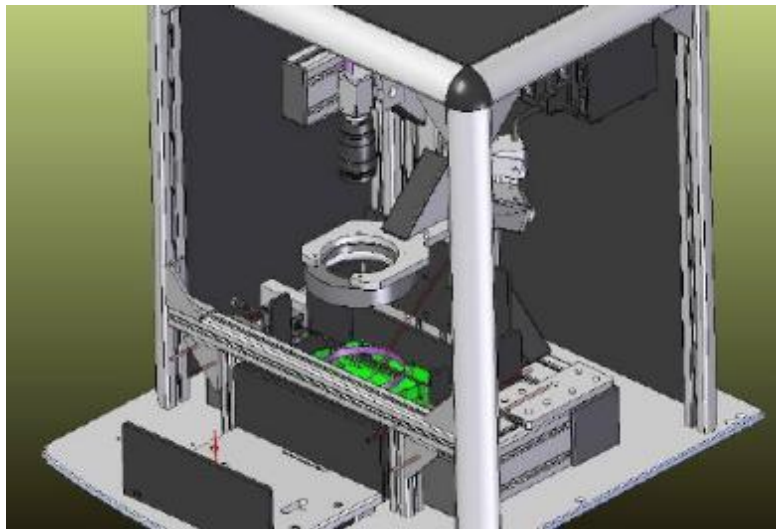


Figura 99 - Equipamento de inspeção automático de fusíveis

Concluída a montagem e teste dos PCB's, as *Electronic Boards* e as *Power boards* seguem para o processo de *coating* seletivo. Para a aplicação do *coating* foi adquirida uma linha específica para o Produto "E". As placas são colocadas numa paleta específica (Figura 100), sendo que o operador apenas coloca, retira e inspeciona as peças de acordo com a instrução de trabalho definida.

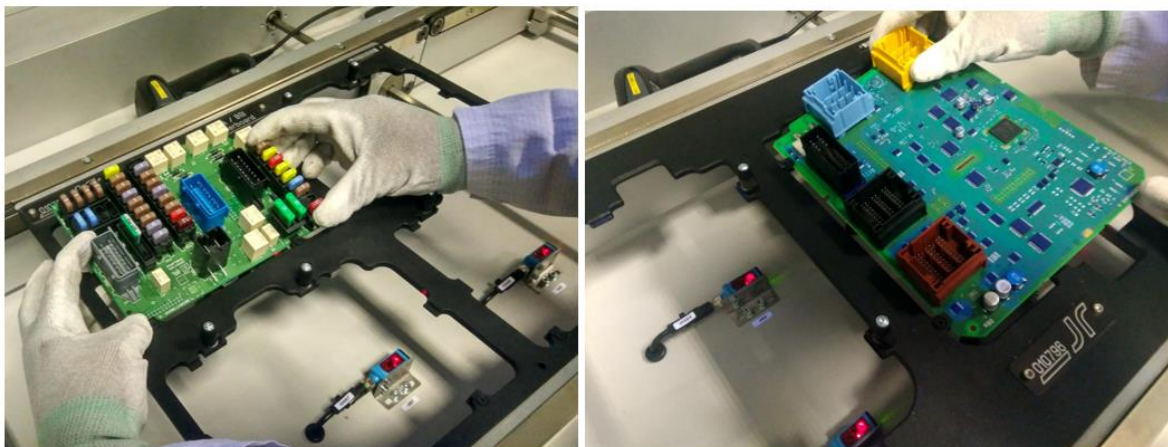


Figura 100 - Paletes de *coating* do produto "E"

Depois do *coating*, as placas ficam num buffer para garantir a cura do material, ficando a montagem das placas concluída, seguindo para a montagem final do produto "E".

Área - Montagem final

O primeiro passo é o processo de *press-fit* para unir as placas através de conectores. Este processo é feito em duas fases com duas prensas. Numa primeira fase conectores são prensados na *Power Board* e numa segunda fase a *Electronic Board* é prensada na *Power Board*, obtendo o conjunto ilustrado na Figura 101.

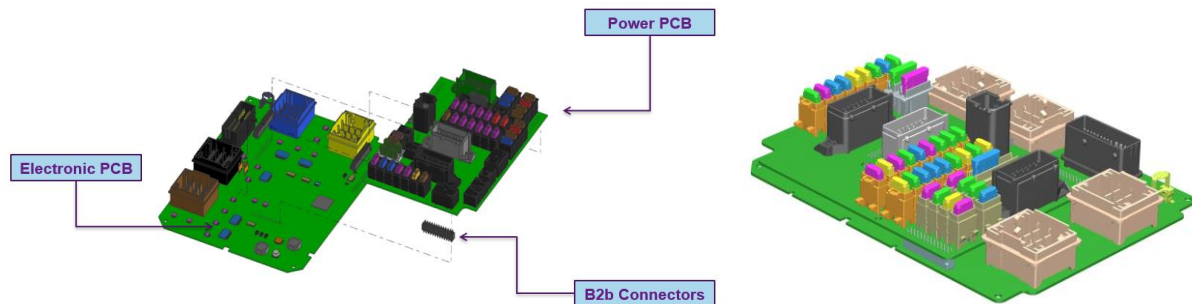


Figura 101 - Sandwich de Electronic board e Power board

Para obter o conjunto da Figura 101 são então necessárias duas prensas para cada um dos passos, sendo que a sequência e tempos são indicados na Tabela 33.

Tabela 33 - Distribuição do conteúdo de trabalho nos postos de *press-fit*

Press fit 1	Motions	Segundos
Pegar no conetor 1 e colocar no dispositivo	4	2,4
Pegar no conetor 2 e colocar o dispositivo	4	2,4
Pegar no conetor 3 e colocar o dispositivo	4	2,4
Pegar no conetor 4 e colocar o dispositivo	4	2,4
Pegar na placa power e colocar na prensa	4	2,4
Fechar a prensa	2	1,2
Tempo prensa		12,0
Abrir a gaveta	2	1,2
Colocar a placa no posto intermédio	2	1,2

Total	27,6
--------------	-------------

Press fit 2	Motions	Segundos
Pegar na placa power e colocar na prensa	4	2,4
Pegar na placa eletrônica e colocar na prensa	4	2,4
Fechar a gaveta	2	1,2
Tempo prensa		13,0
Abrir gaveta	2	1,2
Pegar no conjunto e colocar no tabuleiro	2	1,2

Total	21,4
--------------	-------------

As prensas adquiridas são iguais, diferindo apenas os dispositivos específicos que poderão ser substituídos para posteriormente ser usadas para outros produtos. Durante a prensagem automática é controlada a força e a distância, sendo que no final o equipamento verifica que os conectores estão corretamente inseridos.

Para completar a montagem do produto “E” é necessário colocar a *sandwich* obtida no processo de *press-fit* dentro do *housing* e colar a etiqueta com as informações do produto (Figura 102). Para o processo de *housing assembly & labeling* foi dimensionado um posto em que esta tarefa é realizada em duas fases.

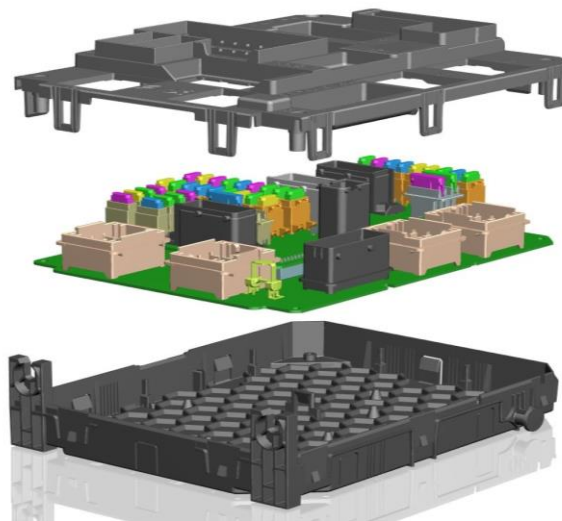


Figura 102 - Montagem Final do Produto “E”

O operador coloca o *housing* num dispositivo específico e de seguida coloca a *sandwich* dentro de *housing*, ficando fixada através de *snaps* plásticos. De seguida é lido o código da *sandwich* e é impressa a etiqueta do produto que será colada no *housing*. Por último é colocada a cover no produto, prensada através de uma prensa manual ilustrada na Figura 103, para garantir que todos os *snaps* são corretamente encaixados.



Figura 103 - Prensa do *housing*

Para terminar, o aparelho é testado em dois sistemas de teste com funcionalidades diferentes, um teste funcional e um teste de Radio Frequência, para garantir que todos os requisitos do cliente são cumpridos (Figura 104).

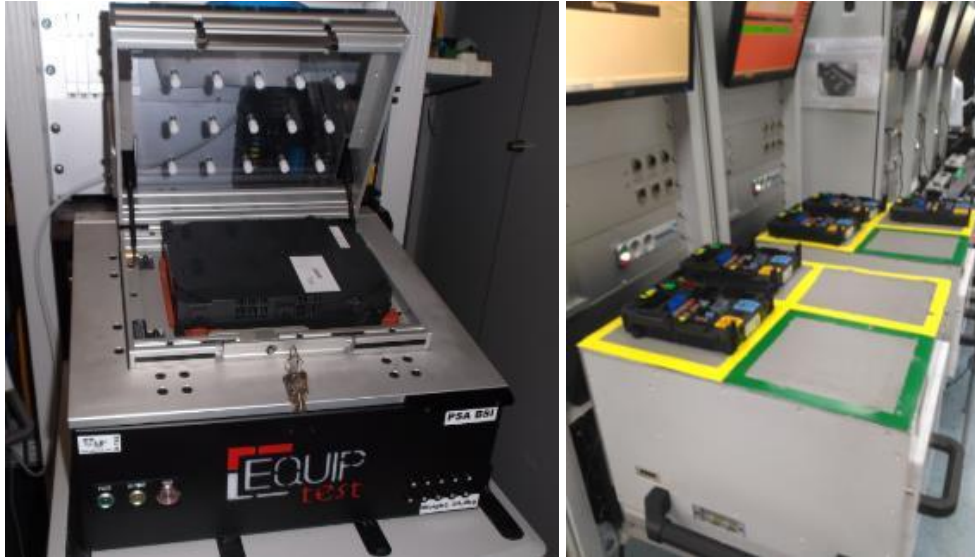


Figura 104 - Sistemas de teste do produto "E"

À semelhança de outros produtos o operador apenas tem que colocar e retirar o produto em cada um dos sistemas de teste. Depois de testado o aparelho é embalado diretamente na caixa do cliente e segue para o armazém (Figura 105).



Figura 105 - Embalagem final idealizada para o produto "E"

O processo de montagem do produto "E" pode facilmente ser visualizado na Figura 107.

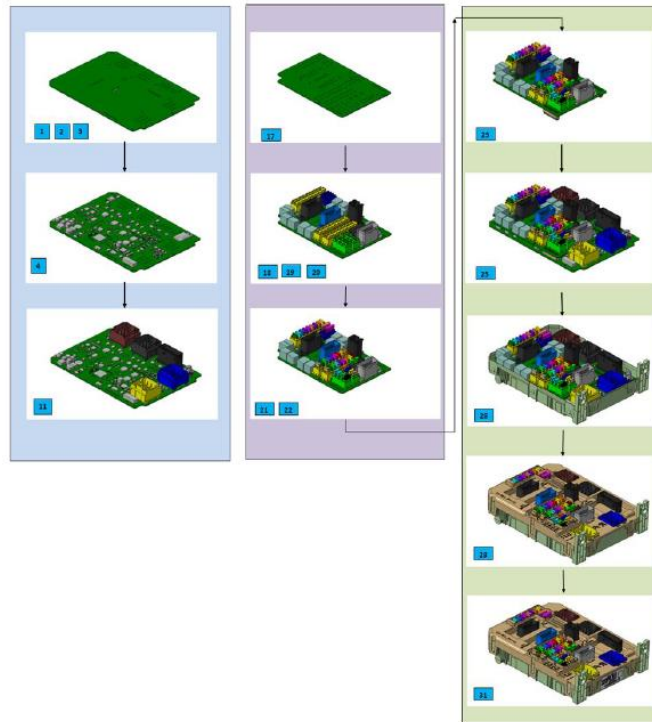


Figura 106 - Sequência de montagem do produto "E"

Definido o processo de montagem do produto “E”, foi necessário definir de que forma é feito o transporte das placas entre processos. Foi necessário adquirir containers específicos para a dimensão das placas eletrônicas e tabuleiros para transporte das placas eletrônicas após a singulação e das *Power Boards* após a soldadura por onda (Figura 107).

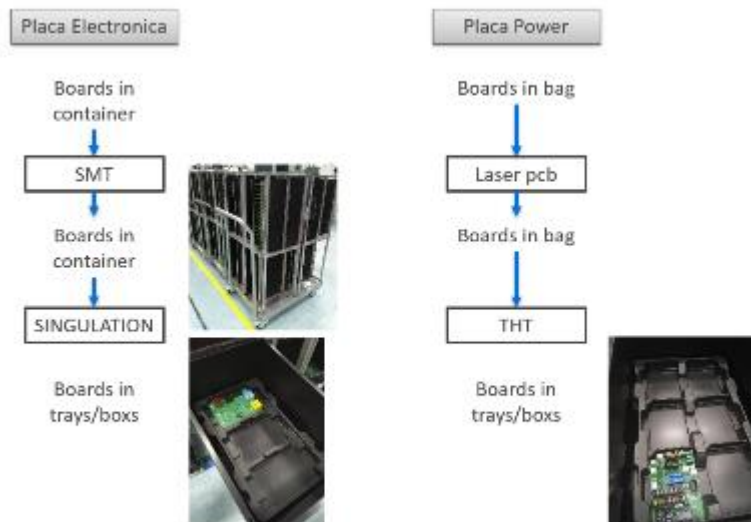


Figura 107 - Embalagem interna entre processos para as placas

Cálculos de equipamentos

Para a instalação do sistema produtivo do produto “E” um dos trabalhos mais importantes foi o cálculo de equipamentos necessário à produção dos volumes acordados. O elevado custo dos equipamentos

produtivos implica um investimento elevado, tornando este cálculo importante, por um lado para garantir a capacidade produtiva e por outro para limitar o investimento ao estritamente necessário.

Para o cálculo dos equipamentos necessários foram recolhidos os tempos de ciclo em segundos dos equipamentos que existem na outra fábrica da Aptiv. Com base nesses tempos de ciclo e nas eficiências operacionais estimadas dos equipamentos, foi calculada a necessidade de equipamentos para o primeiro passo de capacidade de 5000 unidades por semana. Na Tabela 34 podemos observar o resultado do cálculo de equipamentos necessário.

Tabela 34 - Cálculo dos equipamentos para a produção de 5000 unidades / semana

Electronic Board					
Process step	SMT	Singulation	ICT	MOL	Coating Elctornic
CT 100%	NA	9,0	55,0	56,0	40,0
Machine	NA	0,15	0,8	1	0,65
OE	NA	0,85	0,85	0,85	0,85
Sec per day available	NA	12420	66240	82800	53820
Capacity per day	NA	1380	1204	1479	1346
Capacity per day OE	NA	1173	1024	1257	1144
Weekly Capacity 5 days	NA	5865	5119	6284	5718
Weekly Capacity 6 days	NA	7038	6142	7541	6862

Power Board					
Process step	Wave	ICT	Fuse Press	Fuse Vision	Coating Power
CT 100%	40,0	12,0	22	22	22,5
Machine	0,6	0,2	1	1	0,35
OE	0,9	0,9	0,9	0,9	0,85
Sec per day available	49680	16560	82800	82800	28980
Capacity per day	1242	1380	3764	3764	1288
Capacity per day OE	1118	1242	3387	3387	1095
Weekly Capacity 5 days	5589	6210	16936	16936	5474
Weekly Capacity 6 days	6707	7452	20324	20324	6569

Electronic Board + Power Board					
Process step	C2B - press fit	B2B - press fit	Housing	IO test	RF test
CT 100%	31,0	31,0	30,0	78,0	46,0
Machine	1	1	1	2	1
OE	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Sec per day available	82800	82800	82800	165600	82800
Capacity per day	2671	2671	2760	2123	1800
Capacity per day OE	2404	2404	2484	1911	1620
Weekly Capacity 5 days	12019	12019	12420	9554	8100
Weekly Capacity 6 days	14423	14423	14904	11465	9720

Com a quantidade de equipamentos e o funcionamento dos processos definido, passou-se à definição do *layout* produtivo e ao respetivo enquadramento na fábrica. Para o efeito foi criada uma área para receber os diversos equipamentos dedicados ao produto “E”, como pode ser observado na Figura 109.

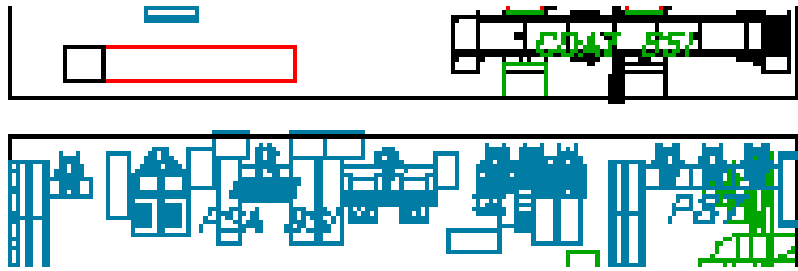


Figura 108 - Layout dos equipamentos de montagem do produto "E"

4.3.2.4 Análise e melhoria das pré-séries

Através da análise da instalação do processo para 5000 unidades/semana e da realização de várias pré-séries foram tiradas conclusões importantes, que resultaram em melhorias significativas e também em poupanças significativas na instalação da capacidade de 15.000 unidades/semana

Na área de CBA a melhoria mais importante esteve relacionada com a eliminação do calcador das paletes de soldadura. O calcador, com um peso significativo, tinha de ser retirado no final do processo e transportado em carrinhos para o último lugar de montagem, complicando o normal funcionamento da linha. Os calcadores causavam ainda dificuldades no encaixe e frequentemente tinham o efeito contrário do pretendido removendo componentes do seu lugar aquando a colocação. Foram efetuados diversos testes e verificou-se que, desde que as placas estivessem fixas na paleta, não ocorriam problemas de componentes levantados na soldadura. Desta forma foram instaladas molas de fixação na paleta de soldadura, eliminando por completo os calcadores, tal como pode ser observado na Figura 109.



Figura 109 - Paleta de soldadura com molas de fixação

Desta forma foi possível reduzir o tempo de ciclo da linha, além de eliminar as tarefas relacionadas com o transporte dos calcadores.

No processo de *coating* também houve diversas melhorias implementadas. Surgiu frequentemente material de *coating* em áreas onde não era suposto, nomeadamente nos conectores. O *coating* nos conectores pode causar isolamento dos conectores, que só é detetado nos testes funcionais e que poderia chegar ao cliente final. Devido ao risco para o produto foram desenhados calçadores que protegem as áreas críticas da placa (Figura 110).



Figura 110 - Calçador para paletes de coating

Esta alteração protegeu o produto sem alteração do tempo de ciclo do processo, dado que o operador dedicado ao equipamento tinha tempo disponível, esperando pelo equipamento.

Foi também necessário garantir que o tempo de cura do *coating* fosse respeitado antes de serem utilizados no processo seguinte. Os PCB's apenas devem ser usados na *press-fit* após o *coating* ter curado por cerca de 30 min. Para garantir que as placas não são prensadas antes do tempo definido para a cura, foi definido, através do sistema informático da fábrica (FIS), que as *press-fits* apenas podem prensar as placas passado o tempo estipulado. Isto é possível devido à rastreabilidade dos produtos em cada um dos processos, garantindo também que o processo anterior foi executado com sucesso.

Dado que não é visível ao operador se o tempo de *coating* foi cumprido, foi criado um buffer dimensionado para cerca de 35 minutos, que permite ainda respeitar a ordem (FIFO) pela qual as placas foram produzidas. Foi criada uma rampa para placas *Power Board* e *Electronic Board* apresentada na Figura 111.

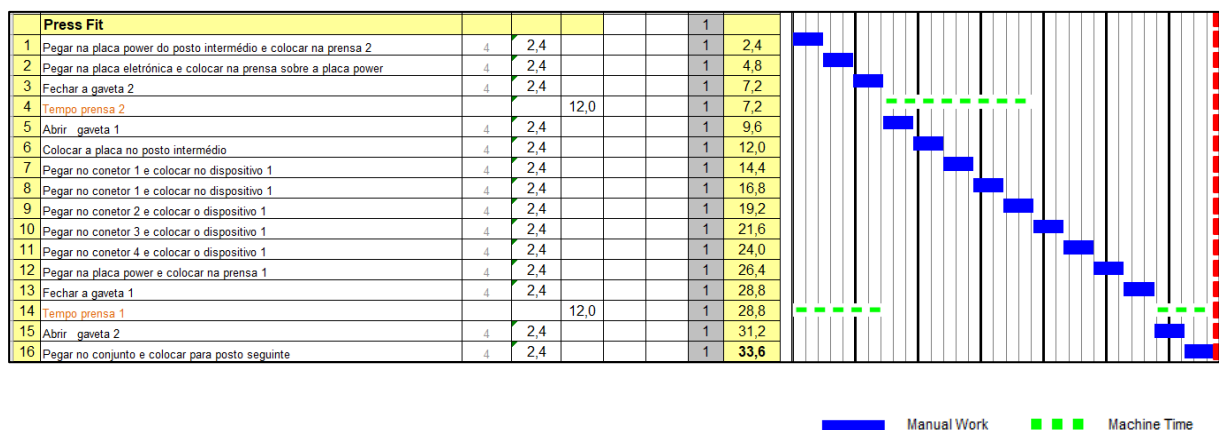


Figura 111 - Rampa de coating FIFO

Relativamente ao processo de *press-fit*, verificou-se tempos de espera elevados por parte dos operadores, verificando-se desperdícios consideráveis a trabalhar com dois operadores, sendo que não se atingia o tempo de ciclo desejado a trabalhar apenas com um operador segundo a sequência de trabalho anteriormente definida. Desta forma analisou-se novamente o conteúdo de trabalho deste posto e alterando a sequência de montagem foi possível reduzir o número de operadores, atingindo o tempo de ciclo desejado de acordo com a

Tabela 35.

Tabela 35 - Sequência de trabalho nos equipamentos de *press-fit*



Como pode ser observado na figura anterior, a sequência de trabalho foi melhorada de modo a que o operador não fique à espera dos equipamentos.

Com base no processo instalado, foi dimensionado o próximo passo de capacidade para o produto “E”, que tem como objetivo instalar uma capacidade de produção de 15.000 unidades por semana. Desta

forma, foram novamente realizados os cálculos de necessidade de equipamentos para a quantidade pretendida, como pode ser observado na Tabela 36.

Tabela 36 - Dimensionamento para 15.000 unidades/semana

Electronic Board					
Process step	SMT	Singulation	ICT	MOL	Coating Elctornic
CT 100%	NA	9,0	55,0	56,0	40,0
Machine	NA	0,4	2,5	3	2
OE	NA	0,85	0,85	0,85	0,85
Sec per day available	NA	33120	207000	248400	165600
Capacity per day	NA	3680	3764	4436	4140
Capacity per day OE	NA	3128	3199	3770	3519
Weekly Capacity 5 days	NA	15640	15995	18852	17595
Weekly Capacity 6 days	NA	18768	19195	22622	21114

Power Board					
Process step	Wave	ICT	Fuse Press	Fuse Vision	Coating Power
CT 100%	20,0	12,0	22	22	22,5
Machine	0,9	0,5	1	1	1
OE	0,9	0,9	0,9	0,9	0,85
Sec per day available	74520	41400	82800	82800	82800
Capacity per day	3726	3450	3764	3764	3680
Capacity per day OE	3353	3105	3387	3387	3128
Weekly Capacity 5 days	16767	15525	16936	16936	15640
Weekly Capacity 6 days	20120	18630	20324	20324	18768

Electronic Board + Power Board					
Process step	C2B - press fit	B2B - press fit	Housing	IO test	RF test
CT 100%	31,0	31,0	15,0	78,0	46,0
Machine	2	2	1	4	2
OE	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Sec per day available	165600	165600	82800	331200	165600
Capacity per day	5342	5342	5520	4246	3600
Capacity per day OE	4808	4808	4968	3822	3240
Weekly Capacity 5 days	24039	24039	24840	19108	16200
Weekly Capacity 6 days	28846	28846	29808	22929	19440

A quantidade de equipamentos a instalar para próximo passo de capacidade tornou necessário estudar uma nova área produtiva para o produto “E” no edifício 2, devido à falta de espaço no edifício 1. O aumento de volumes e novos projetos a instalar tornou assim necessária a criação de uma área dedicada aos projetos de *Electronic Controls*, nomeadamente o produto “D” e o produto “E”. De seguida são apresentados os layouts que foram estudados para uma área de produção localizada no Edifício 2, preparada para estes projetos. Numa primeira fase foram transferidos os equipamentos existentes que garantiam a capacidade de 5000 unidades por semana, obtendo o layout da Figura 112.

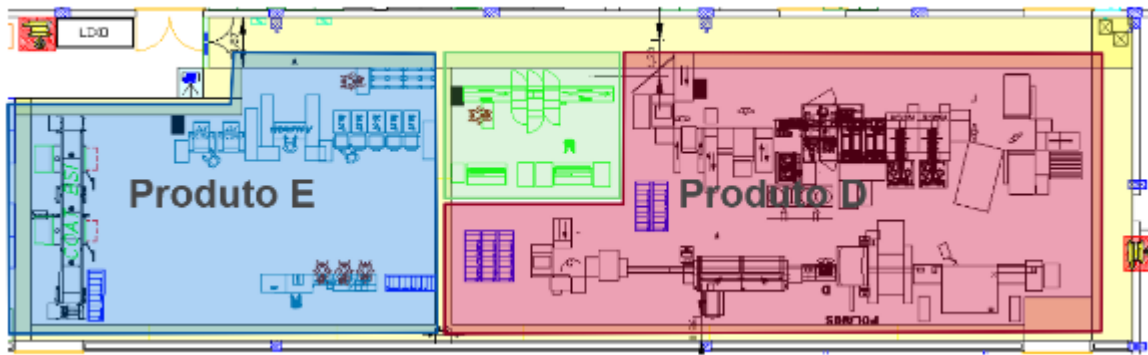


Figura 112 - Layout área nova para 5000 unidades por semana

Ao efetuar o layout anterior, foi considerado também, um layout futuro para a instalação dos equipamentos necessários para a capacidade de 15000 unidades por semana que é apresentado de seguida na Figura 113.

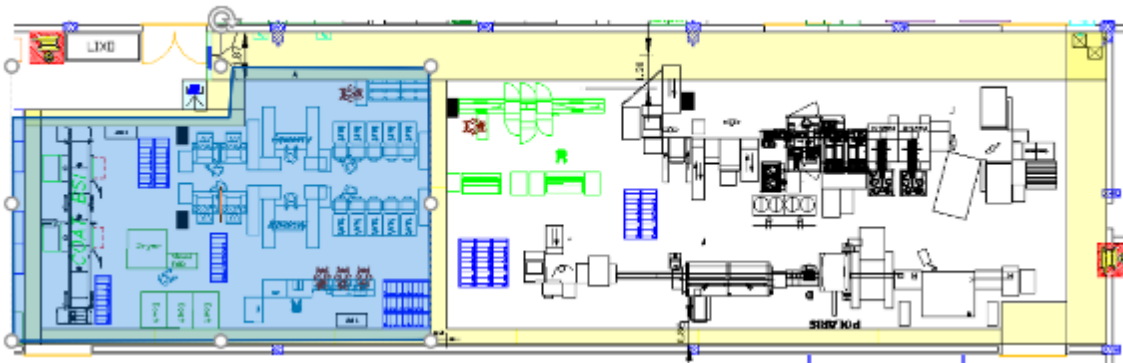


Figura 113 - Layout área nova para 15000 unidades por semana

Depois de estudado o layout foi necessário estudar o processo de transporte dos PCB's e das embalagens, do edifício 1 para o edifício 2, uma vez que os processos relacionados com soldadura (SMT e *Wave Soldering*), que são partilhados com outros produtos, se mantiveram no Edifício 1. O transporte entre edifícios pode ser observado na Figura 114.



Figura 114 - Transporte entre edifícios do produto "E"

Para o processo de transporte foram criadas embalagens específicas para as placas do produto “E”, de modo a garantir a segurança das mesmas. As placas são colocadas em tabuleiros, que por sua vez são colocadas em caixas, sendo ambos de material com características ESD dissipativas. Foi criado um tabuleiro para *Power Boards* e outro tabuleiro para *Electronic Boards*, tendo as mesmas dimensões, o que permite a utilização de caixas iguais, como pode ser observado na Figura 115.



Figura 115 - Embalagens elaboradas para o transporte de placas entre edifícios

Com a instalação da capacidade para 15000 unidades por semana na nova área de produção, deu-se por concluído o trabalho relacionado com a implementação do produto “E” no âmbito desta dissertação.

4.3.2.5 Avaliação do Sistema Produtivo

A partir da instalação e validação da capacidade de 15.000 unidades por semana e garantida a confirmação do cliente para requisitar volumes de 30.000 unidades por semana, tornou-se necessário fazer novamente uma avaliação ao sistema produtivo instalado que não será abordada nesta dissertação. Sugere-se, no entanto, para trabalho futuro, o estudo da introdução de um maior nível de automação na colocação de componentes em CBA e da colocação de fusíveis na *Power board*, por serem processos que consomem muitos recursos produtivos. De salientar que a instalação com sucesso de um processo robusto e com garantias de qualidade foi fundamental para a atribuição de novos volumes à fábrica de Braga.

4.5 Discussão de resultados

O foco do trabalho realizado no âmbito desta dissertação foi a implementação de novos projetos numa empresa multinacional do ramo automóvel, assim como a implementação de melhorias relacionadas

com esses projetos. O processo de projeto de um sistema produtivo para um produto novo é um processo dinâmico, com o objetivo de implementar desde do início a melhor solução produtiva possível. Desta forma, é natural que durante a implementação do produto haja alterações e sejam introduzidas diversas melhorias no sistema produtivo. As diversas melhorias implementadas no decorrer deste trabalho tiveram impactos em termos económicos, em termos de qualidade e em termos ergonómicos.

Serão agora resumidas as melhorias que tiveram impacto no tempo de ciclo dos processos produtivos dos produtos implementados, para de seguida quantificar o impacto económico destas medidas.

Relativamente ao produto A, pode-se destacar a implementação de leituras automáticas nos códigos dos produtos, de melhorias no abastecimento de materiais e no *standard work* que permitiram a redução do tempo de ciclo da linha de montagem final de 31,4 para 24 segundos.

Relativamente ao produto B, as melhorias que tiveram impacto no tempo de ciclo estão relacionadas com a implementação da prensa automática do produto e a apresentação dos materiais ao operador, que permitiu a redução de um operador e de dois segundos em relação à situação inicial.

No produto C, conseguiu-se uma redução de 20,6 segundos em relação à situação inicial, com a introdução de uma prensa para as *sleeves* e o balanceamento dos postos de trabalho, através da troca de conteúdo de trabalho.

No produto D houve a redução da necessidade de um operador na área de CBA, através da implementação dos dispositivos de abastecimento dos materiais, eliminou-se os 11 segundos de conteúdo de trabalho relativos ao *stamping* e, através da implementação das máscaras, conseguiu-se a redução de um operador na montagem final.

Em relação ao produto E, conseguiu-se uma redução da necessidade de um operador e de 3,6 segundos na área de CBA com a implementação das molas de fixação das placas nas paletes de soldadura. Conseguiu-se ainda uma redução considerável de tempo de ciclo através da alteração da sequência de trabalho nos postos de *press-fit*, eliminando os tempos de espera dos operadores.

A quantificação das melhorias em termos económicos foi realizada através de uma ferramenta denominada ICIM (*Integrated Continuous Improvement Methodology*), uma ferramenta de cálculo da empresa, que utiliza dados relativos aos volumes do projeto e custos produtivos para estimar o impacto económicas das medidas nos projetos (Apêndice VI).

Na Tabela 37 é apresentado o quadro resumo com a avaliação em termos quantitativos das melhorias implementadas nos projetos, descritas anteriormente.

Tabela 37 - Quadro resumo da análise quantitativa das melhorias implementadas

Produto	Área/Processo	Antes		Depois		Ganho €
		TC	Operadores	TC	Operadores	
Produto A	Montagem Final	31,8	7	24	7	319 225 €
Produto B	Montagem Final	54,6	2	52,6	1	100 046 €
Produto C	FA	66,4	3	45,8	3	56 021 €
Produto D	CBA	27,3	3	27,9	2	88 050 €
	Stamping	11	1	0	0	37 109 €
	FA	30	3	28,8	2	109 304 €
Produto E	CBA	40,8	4	37,2	3	1 415 515 €
	Press Fit	27,6	2	33,6	1	592 541 €
Total						2 717 811 €

Como pode ser observado na tabela anterior, o total de melhorias durante a fase de implementação dos projetos representa ganhos de cerca de 2,7 milhões de euros. Como pode ser observado na tabela resumo, os maiores ganhos não estão necessariamente associados a uma maior redução de tempo de ciclo, sendo maiores os ganhos nos projetos com maiores volumes.

5. CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as conclusões finais relativas ao projeto de dissertação, terminando com algumas propostas de trabalho futuro.

5.1 Conclusões

O período temporal em que o trabalho foi realizado foi de intensa atividade no que respeita à implementação de produtos, tendo a fábrica da Aptiv de Braga implementado cinco projetos, entre projetos novos, modificações e transferências, com grandes volumes para um horizonte temporal considerável.

É de salientar que o trabalho desenvolvido permitiu compreender a importância da integração dos princípios *Lean* no desenvolvimento inicial do produto e dos processos produtivos, dos ganhos associados à implementação de melhorias numa fase inicial dos projetos, aproveitando os benefícios durante todo o volume do projeto e evitando os custos associados aos desperdícios. Apesar do impacto numa fase inicial, também ficou clara a importância de apostar na melhoria contínua de forma consistente, visto que é necessária uma adaptação constante às mudanças ditadas pelos clientes, pelas evoluções tecnológicas e pelo panorama do mercado automóvel.

O trabalho realizado no âmbito desta dissertação teve contributos importantes e com um impacto significativo na realidade da empresa onde foi desenvolvido.

Relativamente ao Produto “A”, destaca-se o balanceamento do conteúdo de trabalho obtido nos postos de montagem, a introdução de um sistema de coordenadas para garantir a sequência do aparafusamento manual, assim como o desenvolvimento e implementação de um novo standard para as bancadas de análise e retrabalho da fábrica. Relativamente ao produto “B” há que destacar a criação de um posto funcional para o operador que possibilita a execução de todas as tarefas de montagem, teste final e embalagem de uma forma eficiente. Em relação ao Produto “C”, é de destacar a implementação de um conceito de montagem diferente numa linha existente e o planeamento existente para a alteração não provocar paragens.

De destacar a transferência e introdução com sucesso dos produtos “D” e “E”, visto que contribuiu para a diversificação da gama de produtos da fábrica, introduzindo produtos de *Electronic Controls*. Com a introdução destes projetos foi necessário criar áreas de produção novas, o que permitiu compreender as necessidades e particularidades das áreas de produção de produtos eletrónicos na indústria automóvel.

As transferências foram também importantes, dado que constituem situações particulares e cada vez mais frequentes no contexto das empresas multinacionais, permitindo adquirir conhecimentos na gestão destas situações.

A implementação do Produto “E”, permitiu ainda adquirir sensibilidade para o cálculo de capacidade de equipamentos e compreender melhor a importância de ter saltos de capacidade de modo a reduzir as necessidades de grande investimento a curto prazo, instalando as capacidades necessárias conforme as necessidades dos clientes.

Em termos económicos, como foi referido anteriormente, a implementação das diversas melhorias representou ganhos de cerca de 2,7 milhões de euros. Adicionalmente, é de salientar que a introdução destes projetos significa, em termos globais e para os respetivos horizontes temporais dos produtos, um volume de produção total de 11 milhões de aparelhos, que representa uma faturação de mais de 1000 milhões de euros.

A implementação destes projetos constituiu um grande desafio, tendo o trabalho desenvolvido, apesar da grande exigência, sido gratificante e estimulante, constituindo uma aprendizagem importante para a formação pessoal e profissional.

A realização do trabalho descrito nesta dissertação permitiu adquirir conhecimentos importantes acerca do funcionamento de uma empresa multinacional, dos processos produtivos na área eletrónica e das características específicas da indústria automóvel.

5.2 Trabalho futuro

O panorama na indústria automóvel é caracterizado por uma constante mudança, que exige uma constante adaptação a novos cenários e, por sua vez, obriga a uma busca incessante pela melhoria contínua. Desta forma, tendo em conta as situações previstas a médio prazo, é deixado um conjunto de recomendações para os diferentes produtos implementados que foram alvo desta dissertação.

Relativamente ao produto “A”, recomenda-se que seja estudada a otimização do layout, nomeadamente através da aproximação do posto da submontagem da placa *Tuner*, reduzindo desta forma a distância percorrida.

Em relação ao Produto “B”, é recomendado que seja averiguada a possibilidade de efetuar a pré-montagem dos botões na área dos plásticos, reduzindo dessa forma a quantidade de peças na montagem final e as necessidades de gestão e transporte de materiais.

Relativamente ao Produto “C”, como referido anteriormente, é esperada uma diminuição de volumes que motiva o estudo e implementação da redução de lugares de montagem. Paralelamente, com a introdução da produção de produtos eletrónicos no edifício 2, é aconselhado o estudo da transferência desta linha para esse edifício, dado que grande parte dos componentes, e os mais volumosos são produzidos na área dos plásticos, permitindo assim, uma redução significativa de stocks e transportes.

Quanto ao Produto “D”, é aconselhado o estudo da reestruturação das linhas do produto “D1” e “D2”, de forma a obter melhorias, tanto em termos de espaço ocupado, como funcionalidade, quando o produto entrar numa fase de *after-sales*.

Para finalizar, é recomendado, para o Produto “E”, que seja estudado a implementação de automação na montagem de fusíveis e na montagem de componentes em CBA, nomeadamente através de equipamentos de inserção automática de componentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fujimoto, T. (1999). The Evolution of a Manufacturing System at Toyota. *The Academy of Management Review*.
- Fullerton, R., & McWatters, C. (2001). Production performance benefits from JIT implementation. *Journal of Operations Management*, 19(1), 81–96.
- Gao, S., & Low, S. (2014). Theoretical and Conceptual Framework. In *Lean Construction Management* (pp. 101–117). Springer Singapore.
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437.
- Imai, M. (1997). Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy. *McGraw Hill Professional*.
- Joppen, R., Enzberg, S., Gundlach, J., Kühn, A., & Dumitrescu, R. (2019). Key performance indicators in the production of the future. *Procedia CIRP*, 81, 759–764.
- Kiran, D. (2017a). 5S. In *Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies* (pp. 333–346). Elsevier.
- Kiran, D. R. (2017b). Kaizen and Continuous Improvement. In *Total Quality Management* (pp. 313–332). Elsevier.
- Kurdve, M., Harlin, U., Hallin, M., Söderlund, C., Berglund, M., Florin, U., & Landström, A. (2019). Designing visual management in manufacturing from a user perspective. *Procedia CIRP*, 84, 886–891.
- Lander, E., & Liker, J. (2007). The Toyota Production System and art: making highly customized and creative products the Toyota way. *International Journal of Production Research*, 45(16), 3681–3698.
- Liker, J. (2004). The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. *McGraw-Hill*.
- Moen, R., & Norman, C. (2010). Circling Back: Clearing up the myths about the Deming cycle and seeing how it keeps evolving. *Quality Progress*, 1(November), 22–28.
- Monden, Y. (1998). Toyota Production System, An Integrated Approach to Just-In-Time. *Third Edition*, Norcross, GA: Engineering & Management Press.
- Monden, Y. (2011). Toyota production system: An integrated approach to Just-In-Time. *Productivity Press*.
- Moore, R. (2007). Kaizen. In *Selecting the Right Manufacturing Improvement Tools: What Tool? When?*

- (pp. 159–172). Elsevier.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- Plenert, G. (2007). What are the technical tools of lean management? In *Reinventing Lean* (pp. 233–269). Elsevier.
- Rauch, E., Dallasega, P., & Matt, D. (2016). The Way from Lean Product Development (LPD) to Smart Product Development (SPD). *Procedia CIRP*, 50, 26–31.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research Methods for Business Students* (5th Edition). London: Pearson Education.
- Saurin, T., Ribeiro, J., & Vidor, G. (2012). A framework for assessing poka-yoke devices. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(3), 358–366.
- Scholl, A. (1995). *Balancing and Sequencing of Assembly Lines*. Physica-Verlag.
- Shingo, S. (1988). Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system. *Productivity Press*.
- Shingo, S. (1989). *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineer Viewpoint* (2nd ed.). New York: Productivity Press.
- Singh, S., & Kumar, K. (2020). A study of lean construction and visual management tools through cluster analysis. *Ain Shams Engineering Journal*.
- Standard, C., & Davis, D. (1999). *Running Today's Factory: A Proven Strategy for Lean Manufacturing*. In *Hanser Gardner Publications*.
- Steenkamp, L., Hagedorn-Hansen, D., & Oosthuizen, G. (2017). Visual Management System to Manage Manufacturing Resources. *Procedia Manufacturing*, 8, 455–462.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553–564.
- Welo, T., & Ringen, G. (2016). Beyond Waste Elimination: Assessing Lean Practices in Product Development. *Procedia CIRP*, 50, 179–185.
- Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste And Create Wealth In Your Corporation*. Siman & Schuster, New York, USA.
- Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*. Free Press.

APÊNDICES

APÊNDICE I – EXEMPLO DE CÁLCULO DO TAKT TIME

8h X 60 min = 480 minutos

Tempo intervalo = 23 minutos

Tempo útil = 457 minutos/turno

Tempo de 1 turno = 457 minutos

Tempo de 2 turnos = 914 minutos

Tempo de 3 turnos = 1371 minutos

Dias calendarizados de produção = 240 dias

Produto “A”

- *Peak Volume* – 567356 unidades/ano

- Número de turnos a considerar = 3

$$\text{Procura diária} = \frac{567356}{240} = 2364 \text{ unidades}$$

$$\text{Takt Time} = \frac{1371 \times 60}{2364} = 34,8 \text{ segundos}$$

Produto “B”

- *Peak Volume* = 107232 unidades

- Número de turnos a considerar = 1

$$\text{Procura diária} = \frac{107232}{240} = 447 \text{ unidades}$$

$$\text{Takt Time} = \frac{1371 \times 60}{2364} = 34,8 \text{ segundos}$$

APÊNDICE II – EXEMPLOS DE WORK COMBINATION TABLE

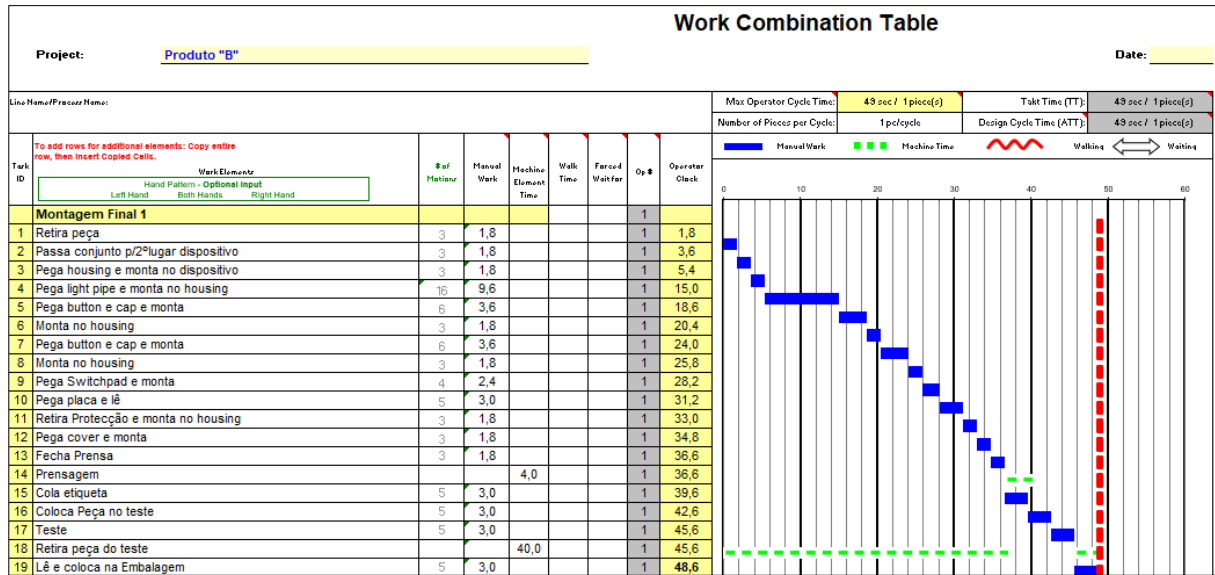


Figura 116 - Work Combination Table - Produto "B"

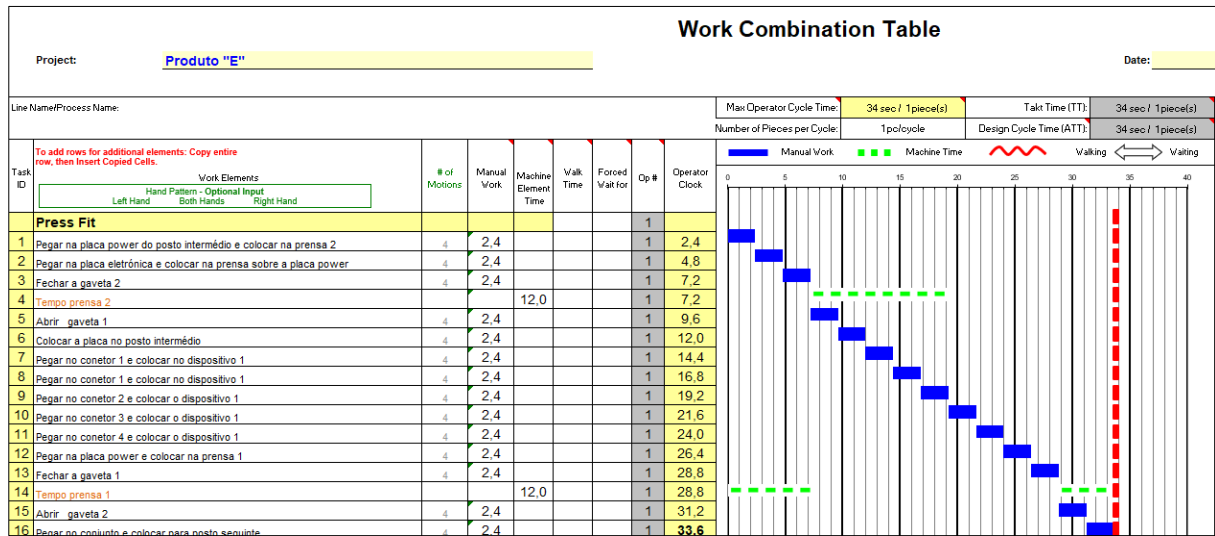


Figura 117 - Work Combination Table - Produto "E"

APÊNDICE III – EXEMPLOS DE LAYOUTS

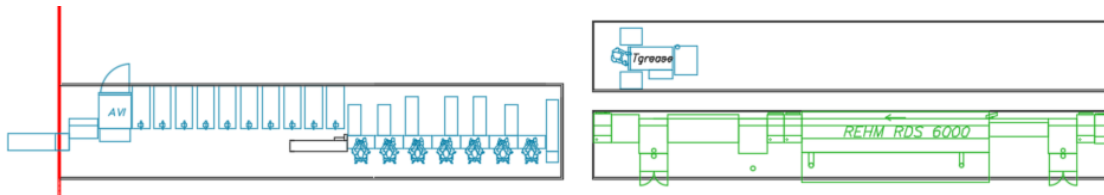


Figura 118 - Layout da montagem final do produto "A"

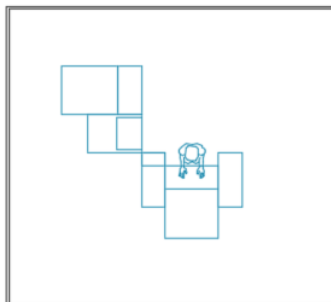


Figura 119 - Layout da montagem final do produto "B"



Figura 120 - Layout da montagem final do produto "C"

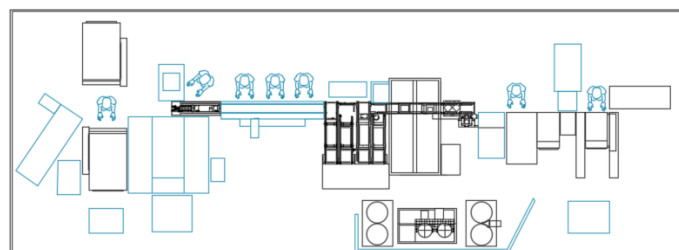


Figura 121 - Layout da montagem final do produto "D"

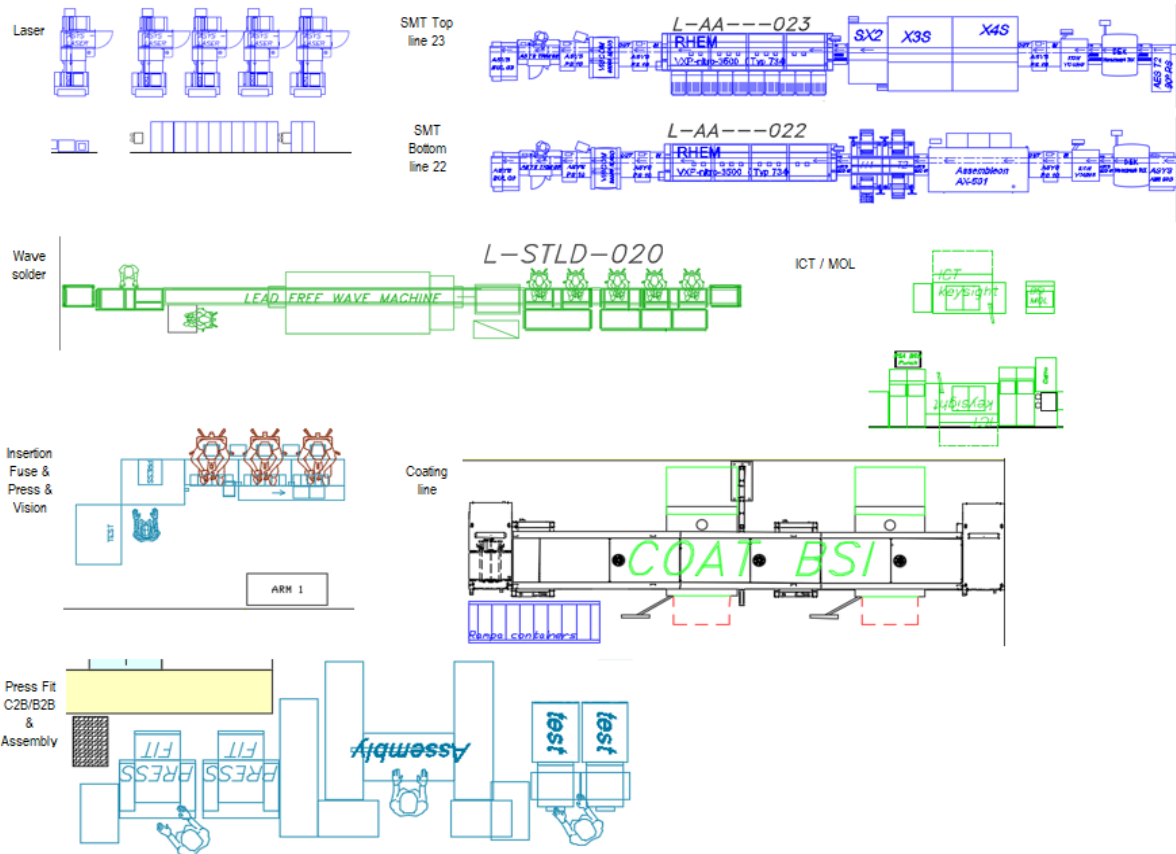


Figura 122 - Layout dos diversos processos do produto "E"

APÊNDICE IV – EXEMPLOS DE INSTRUÇÕES DE TRABALHO

BRAG WI 1140.00.615

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efetiva: _____ Content Reviewed Date: / Data de Revisão: _____ Page 1 de 3


Processo / Modelo: **Produto A FA P1**

Lugar: **1º**

Ref. Doc.: _____

Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:
SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

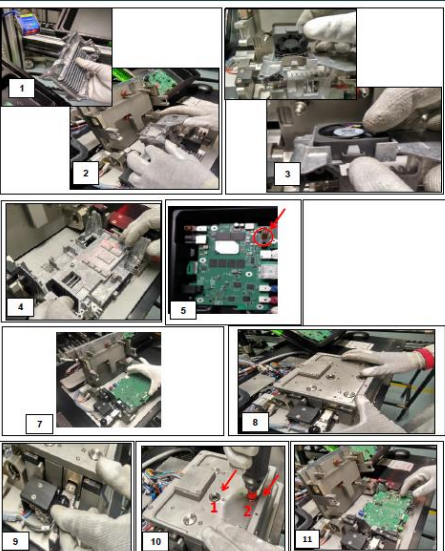
Job Step	Task ID	Elements	Element Time			
			Min	Max	Min	Max
		Mão Esquerda - Ambas Mãos - Mão Direita				
	1	PEGA HEATSINK E LÊ CÓDIGO 2D (FOTO 1)	7	4,2		
	2	COLOCA HEATSINK NO DISPOSITIVO (FOTO 2)	2	1,2		
	3	PEGA FAN E MONTA NO DISPOSITIVO (FOTO 3)	4	2,4		
	4	POSICIONA HEATSINK NO DISPOSITIVO (FOTO 4)	4	2,4		
	5	PEGA MAINBOARD, RETIRA FITAS DOS CONETORES E LÊ CÓDIGO (FOTO 5 e 6)	7	4,2		
	6	MONTA MAINBOARD NO HEATSINK (FOTO 7)	2	1,2		
	7	FECHA DISPOSITIVO (FOTO 8)	2	1,2		
	8	COMPLETA MONTAGEM DA FAN (FOTO 9)	2	1,2		
	9	APERTA 2X PARAFUSOS (FOTO 10)	10	6,0		
	11	ABRE DISPOSITIVO (FOTO 11)	5	3,0		
	12	RETIRA APARELHO E PASSA P/ O POSTO SEGUINTE	4	2,4		
<p>Verificar se os pinos ficaram bem posicionados</p> 						
Total			49	29,4		

Realizado por: _____ Verificado por: _____ Aprovado por: _____

Data: _____

Função: PPE

Nome: João Costa



QUANDO IMPRIMIDO, ESTE DOCUMENTO NÃO É CONTROLADO A MENOS QUE SEJA IDENTIFICADO COMO CONTROLADO PELO DCC (DOCUMENT CONTROL CENTER)

Figura 123 - Instrução de trabalho produto "A" - Montagem Final - Posto 1

BRAG WI 1140.00.495

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efetiva: _____ Content Reviewed Date: / Data de Revisão: _____ Page 1 de 3


Processo / Modelo: **Produto A T-GREASE**

Lugar: **P1**

Ref. Doc.: _____

Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:
SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE


Job Step	Task ID	Elements	Element Time			
			Min	Max	Min	Max
		Mão Esquerda - Ambas Mãos - Mão Direita				
	1	Pegar heatsink sem tocar nas molas - Foto 1	3	1,8		
	2	Ler código 2D gravado - Foto 2	5	3,0		
	3	Colocar heatsink na base, posicionado com os pemos para cima - Foto 3	2	1,2		
	4	Pressionar botão para avançar processo - Foto 4	2	1,2		
	5	Pegar heatsink com 1º lado concluído e rodar	4	2,4		
	6	Colocar heatsink na base, posicionado com os pemos para baixo - Foto 5	2	1,2		
	7	Ler códigos provisórios colados na máquina - Foto 7	6	3,6		
	8	Pressionar botão para avançar processo	2	1,2		
	9	Pegar heatsink concluído de ambos os lados colocar na caixa, pela ordem apresentada - Foto 9	3	1,8		
	10					
	11					
	12	<p>⚠ Tapar sempre a última caixa com uma cover.</p> 				
	13					
	14					
	15					
	16					
	17					
	18					
	19					
	20					
	21					
	22					
	23					
	24					
Total			29	17,4		

Realizado por: _____ Verificado por: _____ Aprovado por: _____

Data: _____

Função: PPE

Nome: João Costa



QUANDO IMPRIMIDO, ESTE DOCUMENTO NÃO É CONTROLADO A MENOS QUE SEJA IDENTIFICADO COMO CONTROLADO PELO DCC (DOCUMENT CONTROL CENTER)

Figura 124 - Instrução de trabalho produto "A" - T-Grease

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva:

Content Reviewed Date: / Data de Revisão:

Page 1 de 3

Processo / Modelo: **Produto B FA P1**
 Lugar: **P1**
 Ref. Doc.:
 Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:
SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

JOB Elem. Sheet	Task ID	Elemento			Element Time			
		Mão Esquerda	Amos Mãos	Mão Direita	Model	Manual Work	Match Time	Wait Time
	1				5	3.0		
	2				4	2.4		
	3				3	1.8		
	4				4	2.4		
	5				3	1.8		
	6				14	8.4		
	7				20	12.0		
	8				2	1.2		
	9				5	3.0		
	10				5	3.0		
	11				5	3.0		
	12				5	3.0		
	13				60	36.0		
	14				2	1.2		
	15				5	3.0		
	16				3	1.8		
	17							
	18							
	19							
	20							
	21							
	22							
	23							
	24							
Total					145	87		

Realizado por: _____ Verificado por: _____ Aprovado por: _____

Data: _____
 Função: PPE
 Nome: João Costa

Figura 125 - Instrução de trabalho produto "B" - Montagem Final - Posto 1

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva:

Content Reviewed Date: / Data de Revisão:

Page 1 de 3

Processo / Modelo: **Produto C FA P1**
 Lugar: **1**
 Ref. Doc.:
 Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:
SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

JOB Elem. Sheet	Task ID	Elemento			Element Time			
		Mão Esquerda	Amos Mãos	Mão Direita	Model	Manual Work	Match Time	Wait Time
	1				3	1.8		
	2				4	2.4		
	3				28	16.8		
	4				3	1.8		
	5						4	
	6				2	1.2		
	7				4	2.4		
	8				20	12.0		
	9				4	2.4		
					2	1.2		
Total					70	42	4	

Colocar "PARA ANÁLISE" todo o material considerado suspeito ou não conforme

Nas versões RHD o módulo é simétrico, logo a sequência de aparafusamento no ponto 8 é a inversa.

Realizado por: _____ Verificado por: _____ Aprovado por: _____

Data: _____
 Função: PPE
 Nome: João Costa

Figura 126 - Instrução de trabalho produto "C" - Montagem Final - Posto 1

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date / Data Efetiva: _____ Content Reviewed Date / Data de Revisão: _____ Page 1 de 3

Processo / Modelo: Produto D CBA P3
 Lugar: 3º
 Ref. Doc.: _____
 Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:
 SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Ordem	Item ID	Elemento			Element Time			
		Mão Esquerda	Ambas Mãos	Mão Direita	Moto	Manual Work	Mach Time	Wait Time
1					3	1,8		
2					3	1,8		
3					3	1,8		
4					3	1,8		
5					3	1,8		
6					3	1,8		
7					3	1,8		
8					3	1,8		
9					3	1,8		
10					3	1,8		
11					3	1,8		
Total					33	19,8		

Realizado por: _____ Verificado por: _____ Aprovado por: _____
 Data: _____ Função: PPIE Nome: João Soares

QUANDO IMPRIMIDO, ESTE DOCUMENTO NÃO É CONTROLADO A MENOS QUE SEJA IDENTIFICADO COMO CONTROLADO PELO DOC (DOCUMENT CONTROL CENTER)

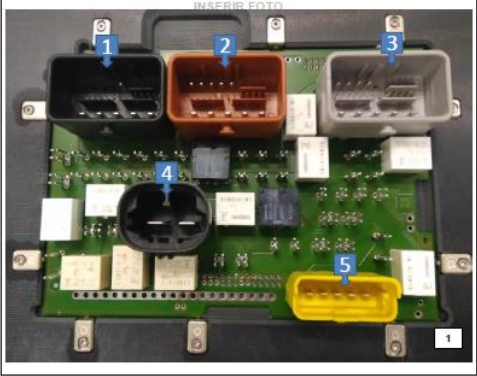


Figura 127 - Instrução de trabalho produto "A" - CBA - Posto 3

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date / Data Efetiva: _____ Content Reviewed Date / Data de Revisão: _____ Page 1 de 3

Processo / Modelo: Produto D FA P1
 Lugar: P1
 Ref. Doc.: _____
 Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:
 SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Ordem	Item ID	Elemento			Element Time			
		Mão Esquerda	Ambas Mãos	Mão Direita	Moto	Manual Work	Mach Time	Wait Time
1					12	7,2		
2					8	4,8		
3					2	1,2		
4					3	1,8		
5					2	1,2		
6					10	6,0		
7					8	3,6		
Total					43	25,8		

Realizado por: _____ Verificado por: _____ Aprovado por: _____
 Data: _____ Função: PPIE Nome: João Costa

QUANDO IMPRIMIDO, ESTE DOCUMENTO NÃO É CONTROLADO A MENOS QUE SEJA IDENTIFICADO COMO CONTROLADO PELO DOC (DOCUMENT CONTROL CENTER)



Figura 128 - Instrução de trabalho produto "D" - Montagem Final - Posto 1

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efetiva: _____ Content Reviewed Date: / Data de Revisão: _____ Page 1 de 3

Processo / Modelo: Produto D FA P6
 Lugar: P6
 Ref. Doc.: _____
 Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:
 SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Item	Seq. ID	Elemento	Element Time			
			Min	Max	Min	Max
		Mão Esquerda				
		Ambas Mãos				
		Mão Direita				
	1	Pegar conjunto e colocar na prensa de fusíveis - Foto 1	4	2,4		
	2	Fechar gaveta e esperar atuação - Foto 2	7	4,2		
	3	Abrir gaveta e pegar no conjunto - Foto 3	4	2,4		
	4	Retirar máscara e colocar na rampa na posição horizontal - Foto 4	6	3,6		
	5	Realizar controle a distância entre conectores e os fusíveis com a ferramenta 1, de acordo com a instrução abaixo - Foto 5	5	3,0		
	6	Verificar se os fusíveis grandes estão correctamente inseridos	8	4,8		
	7	Colocar a peça na caixa - Foto 7	2	1,2		
	8	Carregar no botão para avançar paleta - Foto 8	2	1,2		
Total			38	22,8		

Realizar controle à distância entre conectores e os fusíveis com a Ferramenta 2. A ferramenta deve conseguir passar entre estes, tocando no housing

Verificar se os fusíveis grande estão correctamente inseridos. Qualquer sinal de defeito deve imediatamente ser enviado para

Realizado por: _____ Verificado por: _____ Aprovado por: _____
 Data: _____
 Função: PPIE
 Nome: João Costa

QUANDO IMPRIMIDO, ESTE DOCUMENTO NÃO É CONTROLADO A MENOS QUE SEJA IDENTIFICADO COMO CONTROLADO PELO DCC (DOCUMENT CONTROL CENTER)

Figura 129 - Instrução de trabalho produto "D" - Montagem Final - Posto 6

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efetiva: _____ Content Reviewed Date: / Data de Revisão: _____ Page 1 of 3

Processo / Modelo: Produto E Fusíveis P3
 Lugar: P3
 Ref. Doc.: _____
 Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:
 SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Item	Seq. ID	Elemento	Element Time			
			Min	Max	Min	Max
		Mão Esquerda				
		Ambas Mãos				
		Mão Direita				
	1	Pegar e colocar 5x fusíveis Lilás (3), de acordo com a máscara - Foto 1	10	6,0		
	2	Pegar e colocar 4x fusíveis Amarelo (20), de acordo com a máscara - Foto 1	8	4,8		
	3	Pegar e colocar 3x fusíveis Azul (15), de acordo com a máscara - Foto 1	6	3,6		
	4	Passar conjunto para o posto seguinte	2	1,2		
Total			26	15,6		

DISP-PSABSI-03.04

28484807 6882
 28484811 6883
 28484817 6884
 28484823 6885

Realizado por: _____ Verificado por: _____ Aprovado por: _____
 Data: _____
 Função: PPIE
 Nome: João Costa

QUANDO IMPRIMIDO, ESTE DOCUMENTO NÃO É CONTROLADO A MENOS QUE SEJA IDENTIFICADO COMO CONTROLADO PELO DCC (DOCUMENT CONTROL CENTER)

Figura 130 - Instrução de trabalho produto "E" - Montagem Fusíveis - Posto 3

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efetiva: _____ Content Reviewed Date: / Data de Revisão: _____ Page 1 de 3

Processo / Modelo: Produto E FA P2 Lugar: 2 Ref. Doc.: _____ Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>		Notas Importantes: SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE						
Job Step / Passo	Task ID / Tarefa ID	Elemento			Element Time			
		Mão Esquerda	Ambas Mãos	Mão Direita	Min	Min:Sec	Max:Sec	Min:Sec
1					5	3,0		
2					3	1,8		
3					5	3,0		
4					7	4,2		
5					5	3,0		
6					3	1,8		
Total					28	16,8		

Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data: _____	Função: PP/E	Nome: João Costa

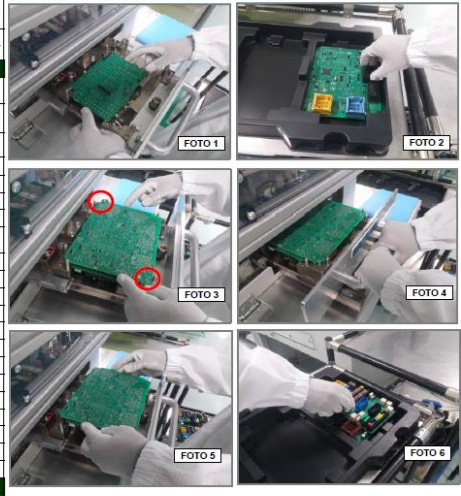


Figura 131 - Instrução de trabalho produto "E" - Montagem Final - Posto 2

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efetiva: _____ Content Reviewed Date: / Data de Revisão: _____ Page 1 de 3

Processo / Modelo: Produto E FA P3 Lugar: 3 Ref. Doc.: _____ Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>		Notas Importantes: SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE						
Job Step / Passo	Task ID / Tarefa ID	Elemento			Element Time			
		Mão Esquerda	Ambas Mãos	Mão Direita	Min	Min:Sec	Max:Sec	Min:Sec
1					5	3,0		
2					5	3,0		
3					2	1,2		
4					7	4,2		
5					4	2,4		
6					3	1,8		
7					2	1,2		
Total					28	16,8		

Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data: _____	Função: PP/E	Nome: João Costa

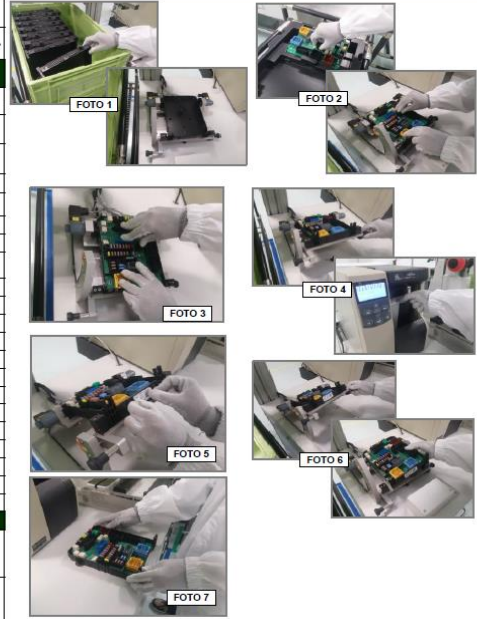


Figura 132 - Instrução de trabalho produto "E" - Montagem Final - Posto 3

APÊNDICE V – STANDARDS DE BANCADAS DE TRABALHO DESENVOLVIDOS

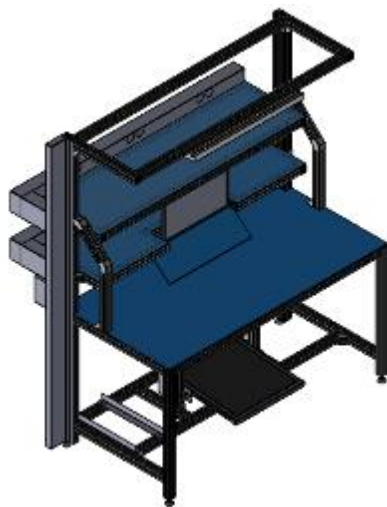


Figura 133 - Bancada de análise

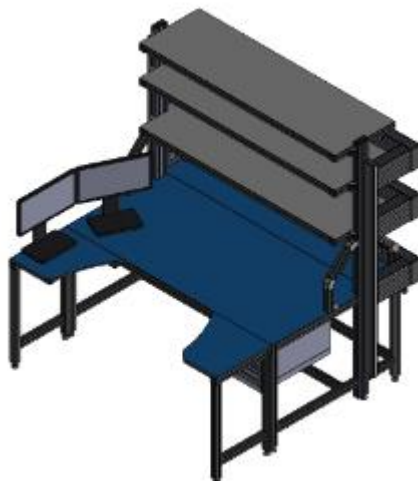


Figura 134 - Bancada de laboratório

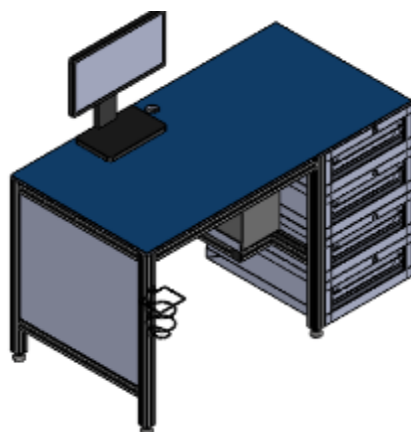


Figura 135 - Bancada de chefe de linha

APÊNDICE VI – CÁLCULOS DE MELHORIAS (ICIM)

PML	Braga	Dokumented by: João Soares Costa	Calculate savings	Print report	Clear form	Unproduct		
Automatic QR code readings; Improvements on Standard work; Improvements on Parts Presentation; Line Balancing.			Choose from list or enter Improvement-tools used:		Enter team-members:			
Effective Savings	Year	Month	Break-even-point in 2019	Implementation- cost	Implementation-Timing		Functional area	
Start	2019	January			Start	End		
End	2024	December	Click 'calculate savings' when done!					
Process (CCET)	Operator c/t	Machine c/t	Floorspace	Investment	BOM	FTQ	Scrap	Uptime
	Dir Labor - Final Asm		sqm sqft				Re-use % of scrapped parts 50%	
Starting condition	7,0 Op. 31,8 sec							
Improved condition	7,0 Op. 24,0 sec							
Improvement	54,6 sec							
Volumetable		<input type="checkbox"/> Including Overhead	Savings				Currency: Euro	
Year	Volume	Conversions	Machine-hours	Capital Avoidance	Material	FTQ / Uptime	Floorspace	Total
2019	3 366	599						599
2020	63 746	11 470						11 470
2021	137 126	25 002						25 002
2022	422 920	78 328						78 328
2023	567 356	106 966						106 966
2024	505 159	96 861						96 861
Total:		319 225						319 225

Figura 136 - Cálculo de melhorias na montagem final do produto "A"

PML	Braga	Dokumented by: João Soares Costa	Calculate savings	Print report	Clear form	Unproduct		
Automatic Press; Parts Presentation Improvements.			Choose from list or enter Improvement-tools used:		Enter team-members:			
Effective Savings	Year	Month	Break-even-point in 2019	Implementation- cost	Implementation-Timing		Functional area	
Start	2019	January			Start	End		
End	2026	December						
Process (CCET)	Operator c/t	Machine c/t	Floorspace	Investment	BOM	FTQ	Scrap	Uptime
	Dir Labor - Final Asm		sqm sqft				Re-use % of scrapped parts 50%	
Starting condition	2,0 Op. 54,6 sec							
Improved condition	1,0 Op. 52,6 sec							
Improvement	56,6 sec							
Volumetable		<input type="checkbox"/> Including Overhead	Savings				Currency: Euro	
Year	Volume	Conversions	Machine-hours	Capital Avoidance	Material	FTQ / Uptime	Floorspace	Total
2019	64 544	11 900						11 900
2020	107 232	20 001						20 001
2021	78 798	14 893						14 893
2022	74 601	14 323						14 323
2023	70 443	13 767						13 767
2024	63 216	12 565						12 565
2025	40 183	8 124						8 124
2026	21 752	4 473						4 473
Total:		100 046						100 046

Figura 137 - Cálculo de melhorias na montagem final do produto "B"

PML	Braga	Dokumented by: João Soares Costa	Calculate savings	Print report	Clear form	Unproduct		
Implementation of Sleeve Press; Line Balancing.			Choose from list or enter Improvement-tools used:		Enter team-members:			
Effective Savings	Year	Month	Break-even-point in 2019	Implementation- cost	Implementation-Timing		Functional area	
Start	2019	January			Start	End		
End	2023	December						
Process (CCET)	Operator c/t Dir Labor - Final Asm	Machine c/t	Floorspace ◉ sqm ◉ sqft	Investment	BOM	FTQ	Scrap Re-use % of scrapped parts 50%	Uptime
Starting condition	3,0 Op. 58,2 sec							
Improved condition	3,0 Op. 45,0 sec							
Improvement	39,6 sec							
Volumetable		<input type="checkbox"/> Including Overhead		Savings			Currency: Euro	
Year	Volume	Conversions	Machine-hours	Capital Avoidance	Material	FTQ / Uptime	Floorspace	Total
2019	107 365	13 849						13 849
2020	74 820	9 764						9 764
2021	42 668	5 642						5 642
2022	33 035	4 437						4 437
2023	16 116	2 204						2 204
Total:		35 897						35 897

Figura 138 - Cálculo de melhorias na montagem final do produto "C"

PML	Braga	Dokumented by: João Soares Costa	Calculate savings	Print report	Clear form	Unproduct		
Improvements on Parts Presentation.			Choose from list or enter Improvement-tools used:		Enter team-members:			
Effective Savings	Year	Month	Break-even-point in 2019	Implementation- cost	Implementation-Timing		Functional area	
Start	2019	January			Start	End		
End	2022	December						
Process (CCET)	Operator c/t Dir Lab - Bd Asm	Machine c/t	Floorspace ◉ sqm ◉ sqft	Investment	BOM	FTQ	Scrap Re-use % of scrapped parts 50%	Uptime
Starting condition	3,0 Op. 27,3 sec							
Improved condition	2,0 Op. 27,9 sec							
Improvement	26,1 sec							
Volumetable		<input type="checkbox"/> Including Overhead		Savings			Currency: Euro	
Year	Volume	Conversions	Machine-hours	Capital Avoidance	Material	FTQ / Uptime	Floorspace	Total
2019	140 064	11 908						11 908
2020	652 447	56 117						56 117
2021	132 562	11 554						11 554
2022	95 687	8 472						8 472
Total:		88 050						88 050

Figura 139 - Cálculo de melhorias em CBA do produto "D" (1)

PML	Braga	Dokumented by: João Soares Costa	Calculate savings	Print report	Clear form	Unproduct		
Integration of Stamping Process in Final Assembly.			Choose from list or enter Improvement-tools used:		Enter team-members:			
Effective Savings	Year	Month	Break-even-point in 2019	Implementation-cost	Implementation-Timing		Functional area	
Start	2019	January			Start	End		
End	2022	December						
Process (CCET)	Operator c/t	Machine c/t	Floorspace ◉ sqm ◉ sqft	Investment	BOM	FTQ	Scrap Re-use % of scrapped parts 50%	Uptime
Starting condition	1,0 Op. 11,0 sec							
Improved condition								
Improvement	11,0 sec							
Volumetable		<input type="checkbox"/> Including Overhead	Savings				Currency: Euro	
Year	Volume	Conversions	Machine-hours	Capital Avoidance	Material	FTQ / Uptime	Floorspace	Total
2019	140 064	5 019						5 019
2020	652 447	23 651						23 651
2021	132 562	4 869						4 869
2022	95 687	3 570						3 570
Total:		37 109						37 109

Figura 140 - Cálculo de melhorias em CBA do produto "D" (2)

PML	Braga	Dokumented by: João Soares Costa	Calculate savings	Print report	Clear form	Unproduct		
Implementation of Fuse Masks.			Choose from list or enter Improvement-tools used:		Enter team-members:			
Effective Savings	Year	Month	Break-even-point in 2019	Implementation-cost	Implementation-Timing		Functional area	
Start	2019	January			Start	End		
End	2022	December						
Process (CCET)	Operator c/t	Machine c/t	Floorspace ◉ sqm ◉ sqft	Investment	BOM	FTQ	Scrap Re-use % of scrapped parts 50%	Uptime
Starting condition	3,0 Op. 30,0 sec							
Improved condition	2,0 Op. 28,8 sec							
Improvement	32,4 sec							
Volumetable		<input type="checkbox"/> Including Overhead	Savings				Currency: Euro	
Year	Volume	Conversions	Machine-hours	Capital Avoidance	Material	FTQ / Uptime	Floorspace	Total
2019	140 064	14 782						14 782
2020	652 447	69 663						69 663
2021	132 562	14 342						14 342
2022	95 687	10 516						10 516
Total:		109 304						109 304

Figura 141 - Cálculo de melhorias na montagem de fusíveis do produto "D" (3)

PML	Braga	Dokumented by: João Soares Costa	Calculate savings	Print report	Clear form	Unproduct		
Implementation of Solder Pallet Springs.			Choose from list or enter Improvement-tools used:		Enter team-members:			
Effective Savings	Year	Month	Break-even-point in 2019	Implementation-cost	Implementation-Timing		Functional area	
Start	2019	January			Start	End		
End	2025	December						
Process (CCET)	Operator c/t	Machine c/t	Floorspace	Investment	BOM	FTQ	Scrap	Uptime
	Dir Lab - Bd Asm		◉ sqm ◉ sqft				Re-use % of scrapped parts 50%	
Starting condition	4,0 Op.							
	40,8 sec							
Improved condition	3,0 Op.							
	37,2 sec							
Improvement	51,6 sec							
Volumetable		<input type="checkbox"/> Including Overhead		Savings			Currency: Euro	
Year	Volume	Conversions	Machine-hours	Capital Avoidance	Material	FTQ / Uptime	Floorspace	Total
2019	294 257	49 460						49 460
2020	998 453	169 780						169 780
2021	1 584 959	273 101						273 101
2022	1 388 409	243 016						243 016
2023	1 314 117	234 143						234 143
2024	1 237 552	224 254						224 254
2025	1 203 165	221 761						221 761
Total:		1 415 515						1 415 515

Figura 142 - Cálculo de melhorias em CBA do produto "E" (1)

PML	Braga	Dokumented by: João Soares Costa	Calculate savings	Print report	Clear form	Unproduct		
Improvements on standard work.			Choose from list or enter Improvement-tools used:		Enter team-members:			
Effective Savings	Year	Month	Break-even-point in 2019	Implementation-cost	Implementation-Timing		Functional area	
Start	2019	January			Start	End		
End	2025	December						
Process (CCET)	Operator c/t	Machine c/t	Floorspace	Investment	BOM	FTQ	Scrap	Uptime
	Dir Labor - Final Asm		◉ sqm ◉ sqft				Re-use % of scrapped parts 50%	
Starting condition	2,0 Op.							
	27,6 sec							
Improved condition	1,0 Op.							
	33,6 sec							
Improvement	21,6 sec							
Volumetable		<input type="checkbox"/> Including Overhead		Savings			Currency: Euro	
Year	Volume	Conversions	Machine-hours	Capital Avoidance	Material	FTQ / Uptime	Floorspace	Total
2019	294 257	20 704						20 704
2020	998 453	71 071						71 071
2021	1 584 959	114 322						114 322
2022	1 388 409	101 728						101 728
2023	1 314 117	98 013						98 013
2024	1 237 552	93 874						93 874
2025	1 203 165	92 830						92 830
Total:		592 541						592 541

Figura 143 - Cálculo de melhorias na montagem final do produto "E" (2)