Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Nuno Miguel Moreno Teixeira Bastos

Reconfiguração de uma linha de produção usando princípios *Lean Thinking* numa empresa de componentes para a indústria automóvel

novembro de 2020

Reconfiguração de uma linha de produção usando princípios *Lean Thinking* numa empresa de componentes para a indústria automóvel
Nuno Bastos
UMinho | 2020

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Nuno Miguel Moreno Teixeira Bastos

Reconfiguração de uma linha de produção usando princípios *Lean Thinking* numa empresa de componentes para a indústria automóvel

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação da

Professora Doutora Anabela Carvalho Alves

novembro de 2020

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 4.0 Internacional
CC BY-NC-ND 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

AGRADECIMENTOS

O meu primeiro agradecimento terá de ser dirigido à empresa Aptiv na pessoa do Jorge Duarte por me ter aceite no estágio curricular e ter dado a oportunidade para o desenvolvimento do presente projeto. A ele agradeço também por todo apoio e suporte dado ao longo dos trabalhos.

Apesar de já não se encontrar na empresa, um agradecimento ao meu primeiro orientador na empresa Tiago Silva por toda ajuda, paciência e conhecimentos transmitidos ao longo dos meses com que pude interagir com ele.

Um agradecimento também ao meu segundo orientador Hugo Moreira que sempre se mostrou disponível para me assistir no que precisasse.

Um especial agradecimento e reconhecimento ao meu orientador não oficial Xavier Castro que, iniciando novas funções em substituição do Tiago Silva, me proporcionou um verdadeiro ambiente de trabalho em equipa e estreita colaboração com quem aprendi muito e me proporcionou momentos importantes de trabalho e aprendizagem mútua. Obrigado "Chefe"!

Um agradecimento ao Sérgio Torres, ao António Pimenta e à Mariana Matos por todo o apoio dado, foram excecionais.

Um agradecimento ao Carlos Oliveira, à Daniela Araújo e ao Eduardo Fernandes pelo tempo despendido e ensinamentos no âmbito do Projeto *Lean Six Sigma,* que faz parte da presente dissertação. Neste contexto um agradecimento, também, à minha colega Marta Costa pela parceria no projeto.

Um obrigado a toda a restante equipa com quem interagi em especial aos do departamento de Engenharia Industrial e a todos os colaboradores da Aptiv pelo fantástico estágio que me proporcionaram.

Um agradecimento à minha orientadora académica, Professora Doutora Anabela Alves por toda a ajuda, disponibilidade, acompanhamento e conhecimentos transmitidos.

Um agradecimento aos meus pais e irmão por me apoiarem ao longo destes 5 anos de mestrado integrado que culmina neste projeto.

Por último, um agradecimento aos meus amigos pelo apoio e incentivo que sempre me prestaram.

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 de mestrado descreve um projeto realizado na empresa Aptiv, localizada em Braga, cujo principal objetivo foi a reconfiguração de uma linha de montagem final usando princípios *Lean Thinking*.

Numa primeira fase do projeto realizou-se uma revisão bibliográfica acerca de *Lean Production,* e a metodologia *Lean Six Sigma* e a reconfiguração de sistemas de produção orientados ao produto. Estes temas serviram de base para o desenvolvimento deste projeto. A metodologia utilizada foi a investigação-ação, uma vez que o investigador esteve sempre envolvido no meio a ser intervencionado numa interação permanente com as equipas e colaboradores promovendo ações de mudança e transformação.

Seguidamente à revisão bibliográfica, foi realizada uma breve caracterização da empresa com o objetivo de contextualizar o espaço e propósito do presente projeto. A etapa seguinte consistiu na descrição e análise critica da situação atual da empresa com o objetivo de identificar os desperdícios existentes no processo produtivo. A partir de observações ao processo produtivo, estudos de tempos e outras ferramentas de análise, foram identificados desperdícios relacionados com a falta de *standard work*, dificuldade de cumprimento do TT, elevado volume de refugo num dos postos de trabalho, falhas de abastecimento, necessidade de auditorias 5S e ainda um potencial risco para a integridade do produto.

A próxima etapa consistiu na formulação de propostas de melhoria que se dividiram em três grandes grupos. Um primeiro grupo dedicado a responder aos problemas identificados na fase de análise critica da situação atual, um segundo com foco na reconfiguração da área produtiva devido a um ajustamento na procura por parte do cliente e um último grupo onde foram apresentadas propostas de desenho e integração de uma nova linha dedicada a um novo produto na mesma família do produzido atualmente.

Como resultados destacam-se, entre outros, menos dois segundos no TC do *Coating Line* (mais 2241 placas semanais), uma melhoria dos indicadores de desempenho avaliados em valores entre 20% e 100%, mais de 8m^2 libertados associados a 880 euros poupados anualmente com a instalação da nova linha dedicada ao novo Produto e uma redução de 1813 euros em refugo (menos 57% de volume). Se a estes resultados se somar os resultados monetários esperados de propostas a implementar futuramente, como a integração de postos de trabalho e retirada de uma operação de HT no novo produto "B", entre outros, significam um total de 95728 euros poupados anualmente.

PALAVRAS-CHAVE

Lean Production, *Lean Six Sigma*, Reconfiguração de linhas de produção, Indústria automóvel

ABSTRACT

This master's thesis describes a project carried out at Aptiv, located in Braga, whose main objective was the restructuring of a final assembly line using Lean Thinking principles.

In the first phase of the project, a bibliographic review about Lean Production was carried out, where its main topics were addressed, from its origins in Japan to its techniques and tools. It was also approached the Lean Six Sigma methodology for problem solving and the theory of product-oriented production systems. These themes serve as a theoretical basis for the development of this project. The methodology used was action-research since the researcher was always involved in the environment to be intervened in a permanent interaction with the teams and collaborators promoting actions of change and transformation.

Following the literature review, a brief characterization of the company was carried out in order to contextualize the space and purpose of this project. The next step consisted of the description and critical analysis of the current situation of the company in order to identify the existing waste in the production process. From observations on the production process, time studies and other analysis tools, waste related to the lack of standard work, difficulty in complying with TT, high volume of scrap in one of the jobs, supply failures, need for 5S and still a potential risk to the integrity of the product were found.

The next stage consisted of formulating proposals for improvement that can be divided into three major groups. A first dedicated to responding to the problems identified in the critical analysis phase of the current situation, a second focusing on the restructuring of the production area due to an adjustment in demand by the client and a last group where proposals for integrating the production of a new product in the same family as the one currently produced.

As a result, among others, stands out the reduction in two seconds in the Coating Line TC (more 2241 weekly plates), an improvement of the performance indicators evaluated in values between 20% and 100%, more than 8m^2 released associated with 880 euros saved annually with the installation of the new line dedicated to the new product and a reduction of 1813 euros in scrap (less 57% in volume). If we add to these results the monetary ones expected from proposals to be implemented in the future, such as the integration of jobs and the withdrawal of an HT operation in the new product “B”, they mean a total of 95728 euros saved annually.

KEYWORDS

Lean Production, Lean Six Sigma, Reconfiguration of production lines, Automotive Industry

ÍNDICE

Agradecimentos iv
Resumo vi
Abstract vii
Índice viii
Índice de Figuras xii
Índice de Tabelas xvii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos xx
1 Introdução 1
1.1 Enquadramento 1
1.2 Objetivos 3
1.3 Metodologia de Investigação 4
1.4 Estrutura da dissertação 5
2 Revisão Bibliográfica 7
2.1 Lean Production 7
2.1.1 Toyota Production System 8
2.1.2 Tipos de desperdícios 12
2.1.3 Lean Thinking e os seus princípios 14
2.1.4 Técnicas e Ferramentas 15
2.2 Lean Six Sigma 20
2.2.1 Definição e conceitos 20
2.2.2 Metodologia DMAIC e ferramentas 21
2.3 Sistemas de produção 24
2.3.1 Tipos de sistemas 24
2.3.2 Projeto de sistemas de produção orientados ao produto 25
2.4 Indicadores de Desempenho 29
3 Apresentação da empresa 30
3.1 Grupo Aptiv 30
3.2 Aptiv Braga 31

3.2.1 Produtos e Clientes 31
3.2.2 Instalações 31
3.2.3 Sistema produtivo geral 33
4 Descrição e análise crítica da situação atual 38
4.1 Processo produtivo do produto "A" 38
4.1.1 Produto Final 38
4.1.2 Lista de materiais 39
4.1.3 *Layout* e fluxo de produção 41
4.1.4 Fluxo de abastecimento 49
4.2 Análise crítica e identificação de problemas 50
4.2.1 Análise de capacidades e estudo dos tempos do processo 50
4.2.2 Atividades que não acrescentavam valor no Coating Line 55
4.2.3 Falhas de abastecimento interno 56
4.2.4 Instruções de trabalho desatualizadas 58
4.2.5 Necessidade de atualização dos 5S e auditorias 59
4.2.6 Elevado volume de refugo e aplicação da metodologia DMAIC 60
4.2.7 Risco de Segurança em Novos Tabuleiros 76
4.2.8 Necessidades de melhoria de bordos de linha 77
4.3 Síntese dos problemas identificados 80
5 Apresentação e implementação de propostas de melhoria 81
5.1 Propostas de melhoria à área produtiva da linha do produto "A" 82
5.1.1 Aquisição de um equipamento *FT* 82
5.1.2 Propostas de novo modo operatório no FT 82
5.1.3 Atualização de Instruções de Trabalho 88
5.1.4 Novo procedimento *Coating Line* 90
5.1.5 Atualização 5S 91
5.1.6 Proposta de Gestão Visual de tabuleiros e novo procedimento 93
5.1.7 Projeto Lean Six Sigma – Refugo Press-Fit 94
5.1.8 Soluções para melhoria de bordo de linha 97
5.2 Proposta de ajustamento a nova procura 100

5.2.1 Ajuste no número de equipamentos 100
5.2.2 Integração ICT+Fuse Insertion 103
5.2.3 Proposta de "Nova Prensa" 107
5.2.4 Nova rota logística 109
5.3 Projeto de linha para novo produto 113
5.3.1 Formação de famílias de produto - processo 113
5.3.2 Instanciação de células 114
5.3.3 Instanciação de postos de trabalho 119
5.3.4 Organização intracelular e controlo 120
6 Análise e discussão de resultados 130
6.1 Resultados de ações implementadas 130
6.1.1 Menor tempo de ciclo e maior capacidade produtiva no Coating Line 130
6.1.2 Maior rácio de utilização capacitiva geral e melhoria dos indicadores de desempenho. 131
6.1.3 Redução de espaço ocupado e custo 132
6.1.4 Redução de refugo no *Press-Fit* – (*Control*) 132
6.2 Resultados previstos de propostas a implementar 134
6.2.1 Ganhos monetários através da integração do ICT com a Fuse Insertion 134
6.2.2 Ganhos monetários com equipamento H&L único 135
6.2.3 Aumento da capacidade produtiva e redução do Tempo de Ciclo dos Functional Tests 135
6.2.4 Menor distância com a nova Rota Logística 135
6.2.5 Redução do espaço ocupado 136
6.2.6 Redução de custos com a retirada da operação de Heat-Stake (Produto "B") 137
6.3 Síntese de resultados 137
7 Conclusão 138
7.1 Considerações Finais 138
7.2 Trabalho Futuro 140
Referências Bibliográficas 141
Apêndices 147
Apêndice I – Cronometragem Tempos de Ciclo dos postos de trabalho do produto "A" 147

Apêndice II - Tempos de Handling do posto FT 148
Apêndice III – Instruções de Trabalho Atualizadas..... 149
Apêndice IV – WCT Coating Line 154
Apêndice V - Tabelas Cálculo de Capacidades 156
Apêndice VI – Tabelas de Tempos para ICT e Fuse Insertion..... 157
Apêndice VII – WCTs Integração ICT com Fuse Insertion Atual e Futura (Simulação) 158
Apêndice VIII – Estudo Rota Logística Futura 160
Apêndice IX – Aplicação Método Direct Cluster Analysis..... 162
Apêndice X - Instruções de Trabalho para o Produto "B"..... 163
Apêndice XI – A3 Projeto Lean Six Sigma – Redução de Refugo do Press-Fit 175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Casa Toyota (Liker & Morgan, 2006). 9
Figura 2 - Os três Desperdícios, Mura, Muda e Muri, (Liker, 2004)..... 14
Figura 3 - Ciclo PDCA. (Štefanić, Tošanović, & Hegedić, 2012). 19
Figura 4 - Posicionamento Células de produção, SPOF e Linhas, (Alves, 2007). 25
Figura 5 - Diferentes movimentações consoante a organização do Layout, (Irani, 1999). 25
Figura 6 - Spin-Off Delphi, (Aptiv)..... 30
Figura 7 - Clientes e Produtos Aptiv Braga 31
Figura 8 - Edifícios do Complexo de Produção Aptiv Braga. 32
Figura 9 - Layout Edifício 1..... 32
Figura 10 - Layout Edifício 2..... 33
Figura 11 - Fluxograma Resumo Surface Mount Technology. 34
Figura 12 - Diagrama Resumo Circuit Board Assembly. 35
Figura 13 - Diagrama Resumo Final Assembly. 35
Figura 14 - Diagrama Resumo Plastic Production. 36
Figura 15 - Diagrama Resumo Final Assembly Infotainment. 37
Figura 16 - Diagrama Resumo Conectivity & Security. 37
Figura 17 - Placa eletrónica, placa power e, módulo final, respetivamente da esquerda para a direita. 38
Figura 18 - Gráfico de Pareto para as diferentes versões do módulo final. 39
Figura 19 - Fluxo produtivo de placas. 41
Figura 20 - Diagrama de Processo do Produto "A"..... 42
Figura 21 - Posto Limpeza. 43
Figura 22 - Coating Stand Alone (esquerda) e Coating Line (direita) 44
Figura 23 - Posto Laser. 45
Figura 24 - Posto THT. 45
Figura 25 - Posto ICT. 46
Figura 26 - Posto Fuse Intertion 46
Figura 27 - Posto Press-Fit. 47
Figura 28 - Posto H&L..... 47
Figura 29 - Posto FT. 48
Figura 30 - Posto RF Test. 48

Figura 31 - Posto Embalamento. 49
Figura 32 - a) Rota Logística Externa, b) Rota Logística Interna. 49
Figura 33 - Tempos de Ciclo dos postos de trabalho dedicados à placa eletrónica (segundos). 51
Figura 34 - Tempos de Ciclo dos postos dedicados à placa Power (segundos). 52
Figura 35 - Tempo de Ciclo dedicados aos módulos finais (segundos). 52
Figura 36 - Tempos de Ciclo do Sistema das atividades do produto A 54
Figura 37 - Diagrama de Processo do Produto A com os Tempos de Ciclo. 55
Figura 38 - Diagrama de Spaghetti das deslocações do operador logístico. 57
Figura 39 - Novo sensor em altura no Coating Line. 58
Figura 40 - Etiqueta mal colada. 58
Figura 41 - Máquina Automática da Montagem Final. 59
Figura 42 – Percentagem de Refugo em valor monetário de Novembro a Janeiro. 60
Figura 43 - Evolução mensal (nov2019-jan2020) do refugo em termos monetários. 61
Figura 44 - Defeitos no posto Press-Fit. 61
Figura 45 - Project Charter do projeto LSS. 62
Figura 46 - Intervalo objetivo proposto em ppm. 64
Figura 47 - SIPOC do processo de produção do produto "A". 64
Figura 48 - Subdivisões da placa Power para efeitos de análise. 65
Figura 49 - Exemplo de tipos de defeitos - A - Defeito do tipo A e - B - Defeito do tipo B. 66
Figura 50 - Volume (unidades) de erros por tipo e sua percentagem. 66
Figura 51 - Diagrama de concentração dos pinos afetados. 67
Figura 52 - Diagrama de Pareto representando os defeitos por zona. 67
Figura 53 - Número de ocorrências por Press-Fit. 68
Figura 54 - Número de ocorrências por turno. 68
Figura 55 - Número de ocorrências por Press-Fit para o Erro do tipo A. 69
Figura 56 - Gráfico de Pareto relativo às ocorrências de defeito e respetivas zonas afetadas. 69
Figura 57 - Diagrama de Concentração para o defeito do tipo A. 70
Figura 58 - Diagrama de Espinha de Peixe para as possíveis causas raiz. 70
Figura 59 – Arestas acentuadas e choque da placa em laterais pouco protegidas, respetivamente. 72
Figura 60 - Simulação movimento incorreto pela rotação da placa sob o eixo perpendicular da direita. 73
Figura 61 - Árvore de falhas para o defeito do tipo A. 74

Figura 62 - Disparidade de distâncias entre conector e placa. 75
Figura 63 - Aplicação dos 5 Why para as três hipóteses identificadas para o problema do Tipo A. 75
Figura 64 - Pinos fixadores incorretos para a placa Eletrónica e Power, respetivamente. 76
Figura 65 - Riscos novos tabuleiros. 77
Figura 66 - Primeira interface da ferramenta de avaliação ergonómica. 78
Figura 67 - Interface de inserção dos dados necessários para a avaliação. 79
Figura 68 - Resultado da avaliação ergonómica. 79
Figura 69 – Avaliação da troca de sentido do movimento. 79
Figura 70 - Resultado da simulação da avaliação ergonómica. 80
Figura 71 - Esquema da disposição dois equipamentos intercalados e respetivo TC. 85
Figura 72 - Gráfico da sequência de módulos num agrupamento triplo. 85
Figura 73 - Esquema modo operatório para cenário 2. 86
Figura 74 - Esquema modo operatório do cenário 3. 87
Figura 75 - Esquema Buffer Out para o Cenário 4. 88
Figura 76 - Esquema de novo procedimento no Coating Line. 91
Figura 77 - Armário, quadro e carro de apoio ao Kanban Flow Board delimitados e identificados. 92
Figura 78 - Identificação e delimitação de paletes na zona de embalamento e supermercado local do THT. 92
Figura 79 - Delimitação e identificação de carro de apoio à reparação, zona de refugo e zona de arrumação de escada de apoio. 93
Figura 80 - Instalação de suportes de garrafas nos postos de Fuse Insertion e Embalamento. 93
Figura 81 - Proposta de Gestão Visual para correto empilhamento de tabuleiros na parte frontal e posterior, respetivamente da imagem esquerda para a da direita. 94
Figura 82 - Exemplo de como a proposta ajuda a identificar o correto empilhamento. 94
Figura 83 - Matriz Esforço-Benefício das ações corretivas de reduzir refugo no Press-fit. 95
Figura 84 - Antes e depois da implementação da base intermédia em altura. 97
Figura 85 - Antes e depois da instalação da base metálica. 97
Figura 86 - Colocação do alerta de qualidade. 97
Figura 87 - Gaveta tubos em alumínio com divisão. 98
Figura 88 - Functional Tests com base para colocação de material para análise. 99
Figura 89 - Base para material para análise nos Press-Fits. 99
Figura 90 - Troca de sentido na rampa no posto de embalamento. 100

Figura 91 - Capacidade atual dos postos em quantidade de módulos vs nova procura. 101
Figura 92 - Gráfico da simulação de capacidade dos postos em quantidade de módulos pela retirada de equipamentos vs nova procura..... 102
Figura 93 - Registo de falhas (unidades) nos Press-Fits. 102
Figura 94 - Work Combination Table da Integração entre ICT e FI considerando o seu funcionamento atual. 104
Figura 95 - Work Combination Table da Integração entre ICT e FI considerando o seu funcionamento futuro. 106
Figura 96 - Proposta de Layout para a Integração do ICT com a Fuse Insertion. 106
Figura 97 - Yamazumi H&L (em segundos)..... 107
Figura 98 - Yamazumi de operações e tempos (segundos) previstos a partir do novo equipamento... 108
Figura 99 - Rota logística proposta. 110
Figura 100 - Nova rota logística proposta..... 112
Figura 101 - Placa Power, Eletrónica e Módulo final do Produto B, respetivamente da esquerda para a direita. 113
Figura 102 - Fluxograma de Processos do Produto "B". 114
Figura 103 - Resultado da aplicação do método DCA. 116
Figura 104 - Conflito entre placa eletrónica e housing inferior. 118
Figura 105 - Inexistência de conflito entre Placa eletrónica e placa power. 118
Figura 106 - Inexistência de conflitos entre as duas placas power e eletrónica sem Heat-Stake..... 119
Figura 107 - Diagrama de Muther para o Layout da zona dedicada ao Produto "B". 121
Figura 108 - Diagrama de Relacionamento para a zona dedicada ao produto "B"..... 122
Figura 109 – Primeira proposta de Layout para zona dedicada ao Produto “B”..... 123
Figura 110 - Segunda proposta de layout para a zona dedicada ao Produto "B". 124
Figura 111 - Layout Final para a zona produtiva do Produto "B". 125
Figura 112 - Layout e circuito produto "B"..... 126
Figura 113 - Work Combination Table - Operação de Heat-Stake e Press-Fit seguida. 127
Figura 114 - Antes e Depois da Capacidade Utilizada do Processo..... 131
Figura 115 - Instalação dos equipamentos dedicados conforme proposto. 132
Figura 116 - Resultados refugo Press-Fit em ppm. 132
Figura 117 - Comparação posição relativa do refugo do Press-Fit entre Janeiro e Agosto. 133
Figura 118 - Evolução refugo do Press-Fit vs Volume de produção de Janeiro a Setembro. 133

Figura 119 - Layout inicial (a) e Futuro (b) da área produtiva do Produto "A". 136
Figura 120 - Tempos de ciclo dos postos de trabalho do produto "A". 147
Figura 121 - Instrução de Trabalho ICT. 149
Figura 122 – Instrução de Trabalho Coating Stand Alone. 150
Figura 123 - Instrução de Trabalho Housing & Labelling. 151
Figura 124 - Instrução de Trabalho Housing & Labelling Máquina Nova. 152
Figura 125 - Instrução de Trabalho Posto de Embalamento 153
Figura 126 - WCT Coating Line Antes. 154
Figura 127 - WCT Coating Line Depois. 155
Figura 128 - WCT Integração ICT com Fuse Insertion considerando o funcionamento atual. 158
Figura 129 - WCT Integração ICT com Fuse Insertion considerando alteração no ICT (Simulação/Previsão) 159
Figura 130 - Aplicação Método DCA. 162
Figura 131 - Instrução de Trabalho Coating - Produto "B". 163
Figura 132 - Instrução de Trabalho Changeover Coating para o Produto "B". 164
Figura 133 - Instrução de Trabalho Functional Test para o Produto "B". 165
Figura 134 - Instrução de Trabalho Changeover Functional Test para o Produto "B". 166
Figura 135 - Instrução de Trabalho Changeover Fuse Insertion para o Produto "B". 167
Figura 136 - Instrução de Trabalho H&L para o Produto "B". 168
Figura 137 - Instrução de Trabalho Changeover Heat Stake para o Produto "B". 169
Figura 138 - Instrução de Trabalho Heat-Stake para o Produto "B". 170
Figura 139 - Instrução de Trabalho Changeover IN Press-Fit para o Produto "B". 171
Figura 140 - Instrução de Trabalho Changeover OUT Press-Fit para o Produto "B". 172
Figura 141 - Instrução de Trabalho Press-Fit Placa Eletrónica e Power para o Produto "B". 173
Figura 142 - Instrução de Trabalho Press-Fit Placa Power para o Produto "B" 174
Figura 143 - A3 Projeto LSS - Redução Refugo do Press-Fit. 175

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores de desempenho 29
Tabela 2 - Quantidade mensal planeada para os diferentes modelos. 39
Tabela 3 - Lista de Materiais placa power. 40
Tabela 4 - Lista de Materiais da placa eletrónica. 40
Tabela 5 - Lista de Materiais do módulo final. 41
Tabela 6 - Gama Operatória de Coating. 43
Tabela 7 - Gama Operatória THT. 45
Tabela 8 - Gama operatória Fuse Insertion. 46
Tabela 9 - Gama Operatória Press-Fit. 47
Tabela 10 - Gama Operatória H&L. 47
Tabela 11 - Gama Operatória RF Test. 48
Tabela 12 - Gama Operatória Embalamento. 49
Tabela 13 - Cálculo do takt time 51
Tabela 14 - TC Coating. 52
Tabela 15 - Tempo de Ciclo FT. 53
Tabela 16 - Indicadores de Desempenho. 54
Tabela 17 - Análise de operações que constam da instrução de trabalho no posto Coating Line. 56
Tabela 18 - Registo de falhas de abastecimento. 56
Tabela 19 – Necessidades de ações 5S. 60
Tabela 20 - Tabela com verificação de hipóteses de causa raiz e respetivas ações corretivas. 72
Tabela 21 - Verificação de hipóteses de causa raiz e respetivas ações corretivas para o defeito do tipo A. 76
Tabela 22 - Necessidade de intervenção de serralharia no bordo de linha. 78
Tabela 23 - Resumo problemas identificados, consequência e tipos de desperdícios. 80
Tabela 24 - Plano de ações 5W2H. 81
Tabela 25 - N°. teórico de máquinas. 82
Tabela 26 - Discriminação tempos de Handling do posto FT. 83
Tabela 27 - Tempo de Ciclo FT e Cálculo do número de máquinas. 84
Tabela 28 – Tempos de resposta a equipamentos cujo processo terminou, mas sem disponibilidade imediata das colaboradoras. 84

Tabela 29 - Cálculo do tempo de ciclo do novo posto. 86
Tabela 30 - Tempo de Ciclo Cenário 2 (segundos). 86
Tabela 31 - Vantagens e Desvantagens de cada cenário proposto. 88
Tabela 32 - Compilação das ações corretivas para reduzir refugo no Press-fit. 95
Tabela 33 - Plano de ações final e sua execução. 96
Tabela 34 - Cálculo do novo Takt-Time para procura de 5600 módulos por semana. 100
Tabela 35 - Número total de avarias nos Press-Fits. 103
Tabela 36 - Número total de avarias nos Coating Stand Alone. 103
Tabela 37 - Tempos de trabalho e espera do ICT e da Fuse Insertion. 104
Tabela 38 - Tempo de Ciclo posto H&L com duas colaboradoras. 107
Tabela 39 - Tempo de Ciclo das rampas dos postos de trabalho. 110
Tabela 40 - Tempos simulados para a proposta de nova rota logística. 111
Tabela 41 - Tempos de repouso (morto) e de trabalho de um operador de máquina. 112
Tabela 42 - Novos tempos simulados para a proposta de nova rota logística. 112
Tabela 43 - Cálculo Takt-time do Produto "B". 114
Tabela 44 - Número de equipamentos necessários. 115
Tabela 45 - Cálculo de capacidades para o produto "B". 117
Tabela 46 - Necessidades de Espaço para o Produto "B". 120
Tabela 47 - Análise ponderada de fatores. 124
Tabela 48 - Buffers produtivos para o Produto "A". 128
Tabela 49 - Buffers produtivos para o Produto "A" para postos partilhados e dedicados. 129
Tabela 50 - Ganhos a partir da redução do tempo de ciclo do Coating Line. 130
Tabela 51 - Indicadores de desempenho, após implementação de medidas. 131
Tabela 52 - Ganhos de espaço e ganho monetário com a instalação dos equipamentos dedicados ao produto "B". 132
Tabela 53 - Síntese resultados do projeto LSS. 134
Tabela 54 - Síntese de ganhos com a aquisição de um FT adicional. 135
Tabela 55 - Síntese de resultados com a proposta da nova rota logística. 136
Tabela 56 - Diferença de áreas e custos associados entre Layouts. 136
Tabela 57 - Síntese de resultados. 137
Tabela 58 - Tempos de Handling do posto FT. 148
Tabela 59 - Cálculo de Capacidades Atual. 156

Tabela 60 - Cálculo de Capacidades Futuro. 156
Tabela 61 - Tempos Operações Fuse Insertion. 157
Tabela 62 - Tempos Operações ICT. 157
Tabela 63 - Cálculos Sequência Rota Logística. 160
Tabela 64 - Cálculo "Extra 1" – THTs. 160
Tabela 65 - TC Conectores Press-Fit. 160
Tabela 66 - Tempo Circuito Rota Logística. 161
Tabela 67 - Tempos Operadores de Máquina. 161

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AOI – *Automated Optical Inspection*

AVI – *Automated Vision Inspection*

CBA – *Circuit Board Assembly*

FA – *Final Assembly*

FI – *Fuse Insertion*

FT – *Functional Test*

TPS – *Toyota Production System*

H&L – *Housing & Labelling*

HS – *Heat-Stake*

IC – *Integrated Circuit*

IT – Instrução de trabalho

JIT – *Just-In-Time*

MOL – *Middle of Line*

PCB – *Printed Circuit Board*

PC&L – *Planning, Control and Logistics*

PT – Posto de Trabalho

QRC – *Quick Response Code*

RF – *Radio Frequency*

SMT – *Surface Mount Technology*

SPOP – Sistemas de Produção Orientados ao Produto

TC – Tempo de Ciclo

THT – *Through Hole Technology*

TT – *Takt Time*

WCT – *Work Combination Table*

WIP – *Work-In-Process*

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do presente capítulo será feito um enquadramento do projeto de dissertação realizado, apresentando-se os seus principais objetivos e descrever-se-á a metodologia de investigação utilizada. Por último, é apresentada a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento

A indústria automóvel tem sido confrontada com uma conjuntura económica que lhe tem retirado o estatuto de ser uma indústria onde as vendas eram crescentes de ano para ano e, por isso, era um setor próspero (Wagner, Herrmann, & Thiede, 2018). Segundo os dados revelados no site *Statista*, o volume de vendas de automóveis, que desde 2015 era crescente, enfrentou em 2018 uma quebra (Wagner, 2019). As previsões apontam para que no próximo ano de 2020 esta tendência de decréscimo continue a manifestar-se (Faria, 2019). Para além disso, a crise pandémica decretada provocada pelo Covid-19 veio agravar a situação, dado que novas previsões apontam para uma queda de 20% nas vendas de automóveis para o ano de 2020, sendo que o pior cenário aponta para uma descida até 40% (Collie, Wachtmeister, & Waas, 2020).

Para uma industria que durante décadas se manteve estável, onde operam alguns grandes *players*, vê-se agora confrontada com novos paradigmas (Wagner et al., 2018). Tais paradigmas envolvem a partilha de carros, a crescente procura por automóveis elétricos, mais amigos do ambiente, e o crescimento de *startups* tecnológicas que anunciam nova concorrência (Ferràs-Hernández, Tarrats-Pons, & Arimany-Serrat, 2017). Estes paradigmas configuram um ambiente mais hostil para a indústria automóvel onde a própria concorrência, no âmbito dos fornecedores dos construtores automóveis também não fica indiferente. A transição para uma realidade em que as principais peças automóveis comportam cada vez mais componentes eletrónicos, aumenta a pressão sobre estes que se vêm confrontados com novas exigências e, potencialmente, maior concorrência (Pujol, 2016). Assim sendo, a implementação de métodos que diminuam custos de produção e melhorem a eficácia e eficiência dos sistemas produtivos torna-se um requisito indispensável na indústria para que se eleve o fator de competitividade e sustentabilidade.

Ao longo da história, circunstâncias ainda mais difíceis ensinaram métodos e filosofias que nos dias de hoje ainda fornecem recursos valiosos. Em 1945 o Japão perde a guerra e uma nova era inicia-se para

a Toyota. Na altura, o presidente da Toyota avisava que para a sobrevivência da indústria automóvel Nipónica seria necessário que a razão de produtividade, comparativamente com os americanos que era de 1 para 9 trabalhadores japoneses, fosse alcançada em três anos. Nasce, deste modo, o *Toyota Production System* (TPS) criado por Taichi Ohno que procurava fazer atingir este objetivo ao minimizar ao máximo os desperdícios. Segundo Ohno (1988) são sete os desperdícios: sobreprodução, esperas, transportes, processamento, inventário, movimentações e produtos defeituosos.

Mais tarde, em 1988 com Krafcik (1988) surge o termo *Lean Production* no seu estudo comparativo entre o sistema produtivo automóvel japonês e americano. No entanto, só em 1990 é que Womack, Jones, and Roos, (1990) popularizou no seu livro *The Machine that Changed the World* o conceito de *Lean Production* ao apresentar uma versão ocidental do TPS onde também ele comparou o desempenho dos sistemas produtivos japonês e americano, concluindo que o primeiro era inegavelmente superior. Juntamente com este conceito de produção foi em 1996 que se expandiu o conceito de *Lean Production* para *Lean Thinking* com Womack and Jones (1996) para reforçar a necessidade de implementar *Lean* como uma maneira de estar, transversal a toda a organização. Apresenta assim cinco princípios: 1) Valor - o que é que o cliente define como valor para ele; 2) Cadeia de valor - conjunto de ações necessárias para finalizar o produto; 3) Fluxo – em que este deve ser contínuo; 4) Produção P*ull* - sendo esta puxada pelo cliente; 5) Busca pela perfeição - ao eliminar continuamente desperdícios (melhoria contínua).

Para que os princípios anteriormente mencionados sejam atingidos é necessário aplicar um conjunto de ferramentas tais como o Standard Work, Kanban, SMED, VSM, balanceamento, nivelamento, mapeamento do processo, entre outros (Feld, 2001). Antes de aplicar estas ferramentas, torna-se fundamental averiguar a adequabilidade do sistema de produção instalado e, caso necessário, reconfigurá-lo, pois só assim se garante que o produto é produzido num sistema adequado, i.e. sem desperdícios (Alves et al., 2015). Embora, por vezes, alterar o sistema possa ser uma decisão dificil de tomar, não fazê-lo poderá implicar mais custos do que os estritamente necessários, pondo em causa a sustentabilidade da empresa (Alves et al. 2015;2016). Para esta reconfiguração podem ser usadas metodologias de projeto e/ou reconfiguração de sistemas de produção, nomeadamente, a metodologia de Monden (2012), Black and Hunter (2003) e Alves (2007).

A Aptiv, consciente da importâcia e do valor que esta filosofia pode agregar à organização, procura ativamente implementar estes pricípios *Lean*. Prova disso, é o facto de estar a implementar um ambicioso programa chamado *Lean 2.0*, contituido por cinco fases de implementação, de modo a ver estabelecida uma cultura *Lean* a curto/médio prazo. Para isso têm contribuído várias dissertações realizadas neste

contexto ((Ferreira, 2015); (Peixoto, 2017); (Oliveira, 2018); (Almeida, 2019); (Costa, 2019); (Pereira, 2019)). Adicionalmente, projetos com a Universidade do Minho são uma forma de aproveitar o conhecimento que os alunos de Engenharia e Gestão Industrial detêm para melhorar os seus processos, onde é exemplo o Projeto Integrado em EGI do 4º ano de MIEGI realizado no ano lectivo passado. Como resultado do referido projeto foi escrito um artigo relativamente à memória corporativa (gestão do conhecimento) (Sobral et al., 2019) e outro relativo a ergonomia publicado na conferência SHO 2019 em Guimarães (Bastos et al., 2019).

Deste modo, é neste contexto que este projeto de dissertação esteve envolvido, numa perspetiva de melhoria contínua dos seus processos produtivos de modo a melhorar os ganhos e eficiênia produtiva. Em particular, neste projeto abordou-se uma linha de produção de módulos eletrónicos denominados na dissertação por produto "A" onde se identificaram alguns problemas, nomeadamente: 1) o sistema em causa não estar a cumprir com o *Takt-Time* (ritmo produtivo mínimo necessário para responder à procura do cliente); 2) alguma falta de cumprimento de standard ou, em casos pontuais, a sua inexistência; 3) balanceamento comprometido por avarias de equipamento; 4) oportunidades de melhoria ergonómica em alguns postos de trabalho e 5) ainda a introdução de um novo equipamento que poderá levar à necessidade de ajustes no próprio posto de trabalho e a uma outra iteração do método de pesquisa posteriormente detalhado. Para além disso, foi identificado um problema de abastecimento interno de postos de trabalho.

1.2 Objetivos

A presente dissertação teve como objetivo a reconfiguração de uma linha de produção para a introdução de um novo produto com o processo produtivo num contexto de melhoria contínua. Essa melhoria do processo produtivo pressupõe a sua análise, utilizando os princípios *Lean Thinking* e ferramentas *Lean*, identificando os seus desperdícios e propondo soluções fundamentadas. De uma forma sintética, para atingir este objetivo foi necessário realizar as seguintes etapas:

- Analisar o processo produtivo identificando desperdícios e situações a melhorar;
- Redefinir o processo à luz dos problemas encontrados e suas soluções;
- Estudar a introdução do novo produto no processo existente;
- Calcular o *Takt-time*;
- Calcular número teórico de postos de trabalho;
- Fazer balanceamento;

- Escolher modo operatório e definir trabalho normalizado;
- Organizar *layout* intracelular e intercelular;
- Definir abastecimento de materiais e bordo de linha;
- Dar formação aos colaboradores.

Concretizado este objetivo, esperou-se melhorar indicadores de desempenho como:

- Reduzir TC;
- Reduzir WIP;
- Reduzir desperdícios;
- Aumentar a eficiência do processo produtivo;
- Melhorar as condições de trabalho;
- Reduzir custos.

1.3 Metodologia de Investigação

O desenvolvimento da presente dissertação teve como primeira tarefa a realização de uma revisão bibliográfica detalhada sobre os conceitos neste documento mencionados, recorrendo a um leque alargado de fontes tais como fontes primárias, onde constam dissertações e artigos científicos, fontes secundárias relevantes como os livros e as revistas científicas e, por fim, fontes terciárias. Espera-se que após esta primeira fase esteja dotado de fundamentos teóricos que permitam, de forma sustentada, desenvolver o projeto.

A metodologia usada foi a Investigação - Ação, comummente designada de *Action-Research,* caracterizada pelo envolvimento do investigador no meio onde se irá estabelecer retirando daí conhecimentos e aplicando outros numa simbiose entre o conhecimento empírico e prático (Susman & Evered, 1978). Segundo o mesmo autor (Susman & Evered, 1978), esta metodologia é constituída por cinco fases cíclicas: 1) Diagnóstico; 2) Planeamento de ações; 3) Implementação de ações; 4) Avaliação; 5) Aprendizagem. O projeto seguiu estas fases.

Na fase de **Diagnóstico** tomou-se conhecimento do problema em questão analisaram-se as situações críticas que comprometiam o sistema produtivo em causa. Uma análise ao sistema através da observação no *Gemba* (chão de fábrica), dos postos de trabalho e das atividades, da análise documental e do diálogo com os colaboradores foram ações levadas a cabo. Para realizar esta fase foram usadas ferramentas tais como *5Why*, histogramas, diagramas de causa-efeito, A3, SIPOC, diagramas de análise de processo e de sequência, entre outras.

Seguidamente, seguiu-se a fase de **Planeamento de ações** a planear de modo a dar resposta às situações anteriormente identificadas. Significa isso que a partir da análise previamente realizada o investigador deve procurar soluções de modo a colmatar as criticidades identificadas. Como neste caso previu-se a introdução de um novo produto considerou-se esta como uma parte desta fase no sentido de planear a sua introdução de modo a não comprometer os atuais compromissos produtivos do produto atualmente em produção. Para isso, foram seguidas as etapas de metodologias de reconfiguração de sistemas de produção e ferramentas *Lean* como *Standard work,* entre outras.

O passo seguinte foi o da **Implementação de ações** onde as ferramentas mencionadas anteriormente foram implementadas, sendo posteriormente, os resultados destas avaliados (**Avaliação**) e discutidos.

A metodologia culmina na fase de **Aprendizagem** onde se procurou retirar ensinamentos a partir dos passos anteriormente realizados. Esta fase é de uma grande importância pois deve-se tirar partido de todo o trabalho efetuado efetivando o conhecimento daí retirado quer para o investigador quer para a organização. As lições aprendidas e sugestões de trabalho futuro ficam registadas nesta dissertação.

1.4 Estrutura da dissertação

O presente relatório está organizado em sete capítulos tratando cada um tema específico.

No primeiro capítulo é feita uma introdução ao projeto, enquadrando-o no contexto académico e prático, demonstrando a sua pertinência. São ainda apresentados os objetivos, bem como a metodologia seguida para o desenvolvimento do trabalho. Termina com um subcapítulo subordinado à estrutura da dissertação.

No segundo capítulo é feita a revisão bibliográfica que pretende cobrir um conjunto de conceitos e ferramentas pertinentes para a persecução deste trabalho. Os temas tratados dizem respeito à Produção *Lean*, percorrendo a sua evolução desde a sua génese até ao conceito *Lean Thinking*. Para além destes conceitos, são ainda abordadas algumas ferramentas *Lean* tais como o A3, *Standard Work* e a Gestão visual, entre outras. Para além disso, desenvolveu-se uma secção subordinada ao conceito de *Lean Six Sigma* onde se percorre o seu aparecimento e uma das metodologias mais usadas. Finalmente, é abordado o tema relativo aos sistemas de produção orientados ao produto e alguns indicadores de desempenho.

O terceiro capítulo é dedicado a apresentar a empresa onde o trabalho se desenvolveu, situando-a no panorama internacional e nacional. É referido o seu portfólio de produtos produzidos na unidade de

Braga, assim como os seus principais clientes. Em termos de organização produtiva são apresentadas as várias zonas produtivas acompanhadas das suas especificidades, concluindo o capítulo.

No quarto capítulo é feita uma descrição detalhada da área produtiva do produto em foco. Segue-se depois a análise critica do estado atual onde são apresentados os pontos sobre os quais a presente dissertação se debruça. A partir de observações diretamente feitas do chão de fábrica e de uma recolha documental de informação, os processos são escrutinados. Das ferramentas utilizadas destacam-se o estudo de tempos, diagramas de processo e diagramas de *spaghetti*.

No quinto capítulo são expostas as propostas de melhorias resultantes da análise inicial, bem como a inclusão de uma nova iteração inerente à metodologia adotada decorrente da necessidade de ajustes organizacionais da linha como resposta a uma nova procura por parte do cliente final. Para além deste ponto, aborda também o projeto de criação da nova área produtiva para o novo produto em que alguns processos necessitam de ser integrados na linha atual.

O sexto capítulo é dedicado à apresentação e discussão dos resultados obtidos onde se ressalva a comparação de indicadores de desempenho.

Por fim, no sétimo capítulo são apresentadas as considerações finais do projeto onde são expostas as conclusões e as sugestões de trabalho futuro, finalizando o trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica referente a temas que são relevantes do ponto de vista contextual, ou seja, do espírito e doutrina com que o investigador desenvolveu o seu trabalho, bem como do ponto de vista técnico, dado algumas ferramentas e conceitos abordados terem sido colocados em prática. Primeiramente, abordar-se-á o conceito de *Lean Production*, enquadrando-o historicamente sem esquecer a sua génese no *Toyota Production System* (TPS), os seus princípios, o conceito de desperdício e algumas ferramentas. Seguidamente, é tratado o tema de *Lean Six Sigma* finalizando com uma revisão sobre os sistemas de produção e o projeto/reconfiguração de sistemas de produção orientados ao produto e alguns indicadores de desempenho.

2.1 Lean Production

O termo *Lean Production* teve a sua primeira menção num artigo de John Krafcik chamado The *Triumph of the Lean Production System* que sistematizava um estudo comparativo entre o sistema de produção automóvel nipónico e americano. A partir de 1990, com o best-seller de Womack et al. (1990), o termo "Lean Production" tornou-se popular. Neste livro estão as conclusões do estudo referido, onde se destaca a Toyota como empresa mais capaz de atingir patamares elevados de produtividade e qualidade.

Krafcik (1988) denominou *Lean Production* ao sistema da Toyota porque este possuía inventários mínimos, linhas de produção fluídas em que os buffers eram reduzidos e as áreas de reparação, também elas muito pequenas. Assim, surgiu a palavra *Lean*, magro em português, visto que foi a que melhor caracterizava, de uma forma geral, o sistema produtivo da *Toyota*, em inglês, *Toyota Production System*. Portanto, o TPS conseguia "fazer mais com menos", ideia chave deste sistema.

De facto, é observado que a implementação de práticas no âmbito da produção *Lean* estão, de uma forma geral, relacionadas com melhorias nos indicadores de produtividade operacional e com melhores índices de qualidade, atingindo melhorias também ao nível do *lead time*, tempo de ciclo e custos produtivos (Shah & Ward, 2003).

Womack & Jones (1996) descrevem o sistema de produção *Lean* como sendo um conjunto de sistemas integrados cujas ferramentas e técnicas utilizadas se relacionam entre si, complementando-se, permitindo "fazer mais com menos". Significa, portanto, que abrangem toda a cadeia de valor, atuando nos seus diversos sistemas e trabalhando a organização de uma forma holística (Bicheno & Holweg, 2009). Não é por isso de estranhar que Womack and Jones (1996) tenham alargado o conceito de *Lean*

Production para *Lean Thinking*, na sua publicação intitulada *Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*, defendendo que mais do que a aplicação de ferramentas e técnicas de uma forma isolada, *Lean* era toda uma forma de estar ao nível de cultura empresarial na qual uma série de princípios deveriam estar sempre presentes.

Assim sendo, torna-se imprescindível aprofundar um pouco mais a génese deste conceito recuperando os alicerces do *Toyota Production System (TPS)*.

2.1.1 Toyota Production System

O TPS teve a sua origem numa conjuntura complicada para a indústria automóvel no Japão. De acordo com Womack et al. (1990) nos anos 30 a Toyota foi obrigada pelo governo militar, em consequência da II Guerra Mundial, a produzir camiões em detrimento de veículos de passageiros, sendo que em 1949 sofreram um colapso nas vendas de automóveis agravados ainda pelo facto de terem de lidar com greves continuadas de trabalhadores. Em 30 anos de laboração observaram que produziram apenas 2685 automóveis em 1950 em comparação com os 7000 produzidos num só dia pelos rivais americanos da Ford. Para além disso, devido à contração na procura assistiram ainda a um crescimento de inventários resultando em elevados custos de posse (Holweg, 2007).

Assim, em 1950, Eiji Toyoda, então novo diretor da Toyota, deslocou-se aos Estados Unidos para estudar o sistema de produção da Ford, na esperança de poder replicar as mesmas técnicas na Toyota. No entanto, juntamente com Taiichi Ohno, diretor de produção da Toyota, concluíram que replicar o mesmo sistema de produção em massa aplicado no ocidente no Japão não iria ter sucesso. Para isso contribui o facto de culturalmente existirem diferenças ao nível laboral, pois ao contrário do ocidente, os trabalhadores japoneses não eram orientados à função, mas sim versáteis, algo que para Ohno (1988) até contribuiu para o sucesso do seu sistema, aliado ao facto de possuírem um mercado interno pequeno (Liker, 2004) e o facto de o mercado de então necessitar de tipologias variadas de automóveis para satisfazerem as suas necessidades (Womack et al., 1990).

Analisando mais detalhadamente o sistema Americano, Ohno (1988) detetou duas grandes lacunas: a primeira de que ao produzir em grandes lotes resultava em grandes stocks com custos elevados e crescente número de defeitos. A segunda falha prendia-se com a incapacidade destes sistemas em acolher diversidade de produtos (Bicheno & Holweg, 2009). Identificadas as falhas e amadurecendo os conceitos ao passar tempo no chão de fábrica (Ohno, 1988), que foram adquiridos pelo sistema de produção em massa da Ford e associando os pensamentos de qualidade pioneiros de Deming e Juran

(Gao & Low, 2014), nasceu o TPS. Este tinha como objetivo reduzir os custos sem recorrer ao aumento do volume de produção nem ao aumento dos recursos através da contínua redução do desperdício (Ohno, 1988).

No entanto, tal só era possível se este novo sistema fosse verdadeiramente estruturante e transversal. Daí que numa necessidade de também instruir os fornecedores base da Toyota, aquando de uma maior maturidade das práticas implementadas, desenvolveu-se aquilo que hoje é um dos símbolos do TPS. A sua casa (Figura 1), desenhada pelo discípulo de Taiichi Ohno, Fujio Cho (Liker, 2004).

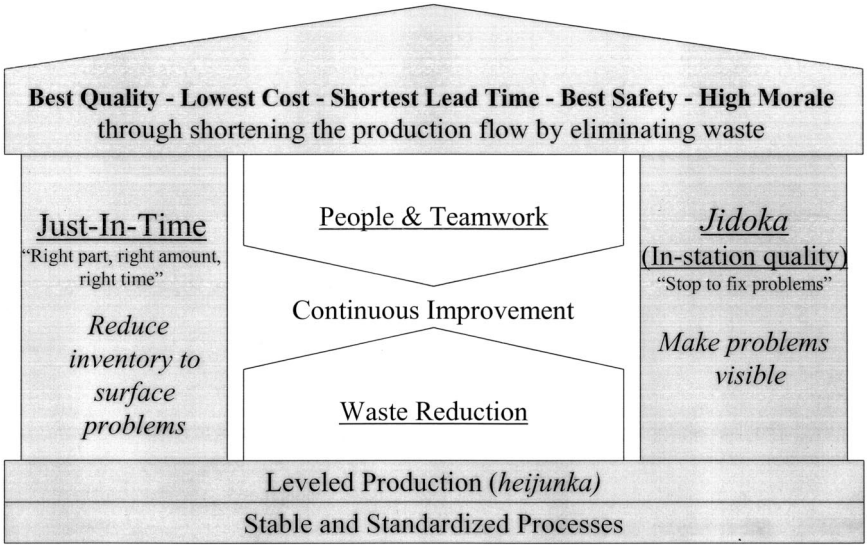


Figura 1 - Casa Toyota (Liker & Morgan, 2006).

Nesta figura são visíveis as bases deste sistema que assentam na produção nivelada (*heijunka*), revelada por Ohno como sendo um princípio fundamental do TPS, e em processos padronizados e estáveis. Em relação à produção nivelada esta resultou da constatação de que, nas circunstâncias históricas em que viviam, não podiam dar-se ao luxo de produzir grandes quantidades e, sobretudo, de criar inventários na expectativa de os produzir apenas no final do mês, o que se agravaria aquando de uma melhoria da economia.

Assim, ao produzir de forma constante em pequenos lotes e com maior variedade promoveu-se a necessidade de se encontrarem soluções para os tempos de *setup,* reduzindo-os, e ainda permitiu envolver equipas na eliminação de ajustamentos. Ou seja, ter como base o *heijunka* permitiu desenvolver outros princípios constituintes da casa, proporcionando a consolidação natural desta estrutura. Como referiu Ohno, "*The system became the product of their effort"*, em português "O Sistema acabou por ser produto do seu esforço" em consegui-lo.

Para além disso, segundo Liker (2004), permite obter flexibilidade de produção, ao produzir um pouco de tudo, todos os dias; distribuir a carga de trabalho pelos equipamentos e a força de trabalho, bem como atenuar a procura nos processos a montante, em particular, nos seus fornecedores.

Em paralelo, a estabilização dos processos assume-se critica para o desenrolar de todo o processo, visto que se algo o perturbar, implica perturbar todos os processos subsequentes. Este tipo de eventos gera um sentido de urgência em o resolver e em estabilizar de novo o processo para que este não volte a ocorrer. No caso de se voltar a repetir, rapidamente se percebe que a raiz do problema não foi atingida e desenvolvem-se esforços no sentido de o colmatar.

Se se pensar nesta cadeia de acontecimentos, percebe-se que a longo prazo contribui para outro conceito importante na estrutura do TPS, a melhoria contínua dos processos, à semelhança de outros conceitos que serão abordados. A somar a esta estabilização dos processos também contribui a padronização do trabalho, uma vez que ajuda na busca pela melhor forma de se concretizar uma operação universalizando-a (Liker, 2004).

Após estes elementos fundacionais da casa seguem-se os pilares, nomeadamente, os que dizem respeito ao *Just-In-Time* (*JIT*) e ao *Jidoka.* O primeiro, de acordo com Sugimori, Kusunoki, Cho, & Uchikawa (1977), é descrito como sendo um método que permite reduzir o lead time produtivo ao fazer com que os processos produzam a quantidade necessária, no tempo necessário e com stock mínimo necessário.

Segundo a Productivity Press Development Team (1998) a importância deste pilar reside na vantagem competitiva que proporciona ao manter os custos reduzidos, a qualidade elevada e o lead time curto. Todavia, o primeiro requisito para que o JIT funcione prende-se com os processos envolvidos saberem a quantidade de que necessitam produzir bem como o seu momento exato (Monden, 2012).

Para tal, segundo Sugimori et al. (1977), é necessário que o paradigma de produção mude de um modelo em que é o processo anterior que fornece as peças ao posto seguinte, "empurrando" (*push*) a produção até ao último processo, para um em que o processo é o oposto (*pull*). No primeiro caso, as ordens de produção são dadas ao primeiro posto e a informação passa do primeiro posto para o segundo, consecutivamente. Ora este tipo de paradigma não se aproxima do conceito pretendido, pois deve ser o ultimo posto a fornecer a quantidade necessária no tempo necessário de modo a salvaguardar possíveis flutuações na procura (Monden, 2012). O que se pretende é que seja este posto a "pedir" ao anterior pelas peças.

Assim se estabelece a diferença entre estes dois paradigmas, o *push* e o *pull production* (Hopp & Spearman, 2004). O paradigma pull pode ser conseguido por meio de uma ferramenta chamada *Kanban*, que consiste em cartões informativos que funcionam em paralelo: um com a informação que percorre dos postos a jusante para montante e outro no sentido inverso com as peças pedidas.

O segundo requisito, na continuidade do artigo de Sugimori et al. (1977) é que todos os processos funcionem na lógica de produzir apenas uma peça e que esta seja transportada unitariamente entre processos assegurando que entre processos apenas existe uma peça. Esta atuação denomina-se *One-Piece Flow* e permite cumprir o fluxo necessário para o cliente reduzindo atrasos, necessidades de armazenamento e transporte, assim como diminuir o risco de dano, detioração e até obsolescência do produto, contribuindo para que, aquando de um problema com um dado posto, este é imediatamente exposto, dada a sequência unitária (Productivity Press Development Team, 1999).

O segundo pilar do TPS, como já referido, é o *Jidoka* que em português pode ser traduzido como "autonomação", ou seja, a capacidade de o equipamento parar sempre que deteta um problema de forma autónoma, sem intervenção do operador. As etapas associadas ao funcionamento destes sistemas *jidoka* são: (1) detetar o problema, (2) interromper o processo, (3) restaurar o funcionamento adequado do processo, (4) investigar a causa raiz do problema e (5) aplicar medidas de resolução (Grout & Toussaint, 2010).

Ohno (1988) afirmava que parar a linha e resolver problemas no imediato contribuía para um melhor desempenho a longo prazo, uma vez que se espera que à medida que os problemas surjam e sejam corrigidos se caminha em direção a outro conceito importante que é o da melhoria contínua ou *Kaizen*. Este conceito ocupa o elemento central da casa representada na Figura 1 e resulta da interceção de dois elementos: o primeiro são as pessoas e o segundo, a redução de desperdícios.

As pessoas são centrais neste paradigma, pois são elas que concretizam a melhoria contínua ao identificarem o desperdício e ao resolverem problemas identificando as suas causas raiz. Naturalmente, este trabalho exige investimento na formação dos colaboradores (Gao & Low, 2014). É importante reconhecer a sua importância até como forma de manter a moral elevada, motivando nesta atitude de busca permanente pela melhoria de processos (Monden, 2012). Algo que é, aliás, bem demonstrado pela frase de um ex-trabalhador da Toyota numa entrevista: "fazer coisas tem tudo a ver com pessoas" (Liker & Meier, 2007).

São estes conceitos até aqui tratados que no seu conjunto permitem atingir os objetivos representados na casa pelo telhado do TPS, que são entregar ao cliente produtos de alta qualidade com o menor custo, no menor tempo possível através da moral elevada e em segurança.

2.1.2 Tipos de desperdícios

Como foi possível observar na casa do TPS o desperdício ocupa um papel central na estrutura de produção. Para Ohno (1988), configura desperdício, ou *Muda*, tudo aquilo que não acrescenta valor na ótica do cliente e classificou os desperdícios em sete categorias:

1. **Sobreprodução:** quando se produz em excesso e, portanto, a mais do que aquilo que é pedido pelo cliente, acumula-se stock, aumentando os custos de existência para a organização, aumentando até a ocorrência de defeitos (Pinto & Amaro, 2007). Por este motivo, para Ohno (1988) este é o desperdício mais preocupante, visto poder ser a raiz de outros desperdícios;
2. **Esperas:** para Bicheno & Holweg (2009) o desperdício da espera é talvez o segundo desperdício mais importante, pois está relacionado com o fluxo de produção, uma vez que aguardar por um posto de trabalho é visto como prejudicial, significando que todos os postos a jusante e, consequentemente, o cliente, está dependente da sua performance.
3. **Transportes:** é tudo o que é transporte de materiais em processamento que envolvem longas distâncias, traduzindo-se em ineficiências de transporte como pode ser exemplo a retirada de materiais de um armazém para a produção (Liker, 2004). É um desperdício que deve ser continuamente reduzido pois está associado à produtividade e qualidade do produto (Bicheno & Holweg, 2009);
4. **Sobreprocessamento ou processamento incorreto:** dizem respeito às operações e processos que não são necessários ao processo. Acontece que este excesso de processamento pode conduzir a defeitos que, à partida, seriam prevenidos pelo facto de determinadas operações não serem sequer executadas (Pinto & Amaro, 2007). Relativamente ao processamento incorreto, este está muitas vezes associado à utilização de materiais que não são apropriados à operação, o que também contribui para a possibilidade de ocorrência de defeitos (Bicheno & Holweg, 2009);
5. **Inventário:** a questão dos *stocks* é relevante uma vez que escondem muitos problemas na produção como, por exemplo, uma disposição pouco eficaz dos equipamentos, *setups* elevados, questões de qualidade e até *bottlenecks* (Pinto & Amaro, 2007), para além das questões ao nível dos custos que estão associados;

6. **Movimentações e manipulações:** é muitas vezes um desperdício negligenciado, pois é facilmente associado a atividade, o que é, geralmente, um bom indicativo. No entanto, a questão que se coloca é se esse movimento está mesmo a acrescentar valor ao produto (Wilson, 2010). Segundo Holweg (2009) a componente do movimento que não acrescenta valor está associado a dois elementos: o primeiro relacionado com o movimento ergonómico que quando executado várias vezes de forma não ergonómica coloca em causa a qualidade e a própria saúde do colaborador e a segunda está relacionada com o arranjo do posto de trabalho e do layout, que pode esconder a necessidade de a operadora executar micro-movimentos que não acrescentam valor à sua operação e ao produto;
7. **Defeitos:** são todos os problemas de qualidade aos quais se soma os custos de inspeção e deteção de defeitos, assim como os de retrabalho. Se um grande número é detetado, normalmente origina o recurso a mais inspeções, o que comporta a utilização de mais recursos incrementando os custos com o problema. Deve-se, por isso, procurar produzir bem à primeira resolvendo os problemas pela sua raiz (Pinto & Amaro, 2007).

Mais tarde, Liker, (2004) identificou outro desperdício como sendo um oitavo que se prende com o desperdício abstrato de não se aproveitar o potencial dos colaboradores para resolução de problemas através das suas ideias, seja pelo facto de não serem dadas oportunidades aos colaboradores de as manifestarem, seja pelo facto de não serem reconhecidas e desenvolvidas as suas competências.

Até agora, os desperdícios elencados estão relacionados com o *Muda*. Todavia, Liker (2004) identifica mais dois: *Mura* e *Muri*. Ambos expandem para novos campos o conceito de desperdício, alargando o âmbito de atuação no que à erradicação do desperdício diz respeito. Enquanto que os defeitos no quadro do *Muda* provocam um aumento do lead time, movimentos e inventários desnecessários, assim como o fraco aproveitamento do tempo e questões de qualidade, os outros dois focam-se nos equipamentos e nas pessoas.

Muri está relacionado com a sobrecarga de equipamentos e pessoas que, quando utilizados acima da sua capacidade, comportam riscos de segurança e qualidade. Algo que se deve evitar, não só por questões produtivas, no caso dos equipamentos, mas por motivos humanos até.

Mura significa variação e está relacionado com uma base importante do TPS que é a estabilidade e nivelamento dos processos. *Mura* provoca *Muri* que, por sua vez provoca *Muda* e vice-versa (Bicheno &

Holweg, 2009). Por este motivo, os 3M aparecem muitas vezes ilustrados como interdependentes entre si, sendo a sua eliminação um objetivo a atingir, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Os três Desperdícios, Mura, Muda e Muri, (Liker, 2004).

2.1.3 Lean Thinking e os seus princípios

No livro *Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation* de Womack & Jones (1996) os autores apresentam aquilo a que chamam de antídoto para o *Muda*: pensamento *Lean*. Segundo os autores, o pensamento *Lean* representa uma forma de estar transversal à organização na qual pretende fornecer uma maneira de especificar o que é o valor, alinhando os processos de maneira a que o desperdício seja naturalmente reduzido ao longo do fluxo produtivo e de modo a que seja possível fazer cada vez mais com menos esforço humano, equipamento, tempo e espaço, fornecendo aos clientes exatamente o que pretendem e no momento em que o querem.

Além disso, pretende proporcionar um ambiente de trabalho mais satisfatório, propício à conversão de atividades em valor num processo de reengenharia de processos convergindo num estado de busca permanente pela perfeição dos processos sob a orientação de cinco princípios a que se chamam de princípios *Lean Thinking*. São eles:

1. **Valor:** é apontado como sendo o ponto de partida para o pensamento *Lean*, pois evoca o papel determinante do cliente. É ele que define o que é valor e não o produtor, apesar de ser ele que o produz. Por este motivo, os autores defendem que é necessário definir com precisão o valor em termos de produtos específicos a partir de equipas focadas em manter um diálogo constante com os clientes;
2. **Cadeia de Valor:** como sendo o conjunto de operações necessárias para produzir um determinado produto desde a conceção da ideia, a fase do projeto e do lançamento na produção. É através desta análise que será possível distinguir três tipos de ações, segundo os autores:
    a. O primeiro diz respeito às ações que efetivamente acrescentam valor;

b. O *Muda* tipo 1: que apesar de não acrescentarem valor são necessárias de se realizar;
c. O *Muda* tipo 2: que não acrescentam valor e podem ser eliminadas.

3. **Fluxo:** uma vez aplicados os princípios anteriores, segue-se permitir que as ações restantes fluam no processo fazendo com que desde a conceção até ao cliente não haja interrupções, privilegiando o uso de lotes pequenos e o conceito de *one-piece-flow*;
4. **Pull:** este princípio consiste em permitir produzir apenas o necessário, ao ritmo a que o cliente pede ao colocar as ordens de produção no último processo até ao primeiro, não produzindo excessos;
5. **Busca pela Perfeição:** pois surge como resultado da aplicação dos princípios precedentes visto que, segundo os autores, eles interagem entre si emergindo melhorias que vão fazendo com que surjam novas oportunidades e desperdícios a eliminar num processo contínuo de *Kaizen*, melhoria contínua.

2.1.4 Técnicas e Ferramentas

Nesta seção serão apresentadas de uma forma sucinta algumas ferramentas que se inserem neste paradigma de produção.

2.1.4.1. Standard Work

Uma forma de se perceber a importância desta ferramenta é através da observação da sua posição na Casa TPS anteriormente apresentada. Ocupa uma posição de base sugerindo, por isso, constituir um pré-requisito para que toda a estrutura se mantenha. Na verdade, Ohno (1988) referia-se ao *standard* da seguinte maneira: *"Where there is no standard, there cannot be improvement"* denotando a sua importância.

De acordo com a Productivity Press Development Team (2002) o *standard work* pode ser definido como o conjunto de procedimentos de trabalho pré-determinados que estabelecem o método de trabalho mais fiável com a sequência para cada processo, para cada trabalhador. Permite, por isso, maximizar o desempenho enquanto minimiza o desperdício e a carga de trabalho em cada operação por operador. Por possuir estas características funciona também como uma ferramenta de diagnóstico a partir da qual se constata o estado atual em termos de sequência e operações em si, suportando a melhoria contínua. Constitui, portanto, uma base de referência da qual se parte para a melhoria do próprio standard. Ainda de acordo com os mesmo autores o *Standard Work* é composto por tês elementos:

1. *Takt-Time*: que determina o ritmo de produção de acordo com o ritmo necessário para satisfazer a procura do cliente;
2. Sequência de trabalho padronizada: ou seja, a ordem segundo a qual as tarefas envolvidas na operação devem ser executadas num ciclo de trabalho;
3. Inventário de peças em processamento (WIP) standard: trata-se de uma quantidade mínima de inventário ao longo do processo que permite o fluxo contínuo e ininterrupto da produção.

No âmbito dos benefícios desta ferramenta, a *Productivity Press Development Team* (2002) subdivide-os em duas vertentes: a do lado da empresa e a do lado do operador. No primeiro caso permite reduzir a variabilidade e os custos a ela associados, ao mesmo tempo que melhora a qualidade e encurta o *lead time.* No segundo caso, facilita a formação do colaborador e a sua flexibilidade nos diferentes postos de trabalho, auxiliando-o na procura por novas ideias de melhoria.

2.1.4.2. Gestão Visual

A gestão visual consiste numa estratégia de gestão de informação relacionada com o aumento da transparência dos processos, relevante no apoio à melhoria contínua e que depende da transmissão eficaz de informações em diferentes níveis hierárquicos (Brandalise, Valente, Viana, & Formoso, 2018). Como está explicito no livro *Just-In-Time for Operators* (Productivity Press Development Team, 1998), a gestão visual expressa informação de maneira a que possam ser rapidamente entendidas por qualquer pessoa.

Juntamente com outras ferramentas como os 5S (apresentado na secção seguinte) e o *Standard Work* (apresentado na secção 2.1.4.1) e os sistemas *Andon*, que assinalam luminosamente em cada equipamento a ocorrência de um problema constituem uma ferramenta importante na comunicação do estado da fábrica (Productivity Press Development Team, 1998). A este respeito Bicheno e Holweg (2009) refere, "se nos deslocarmos a uma fábrica e os horários, esquemas produtivos, standard work e processos de resolução de problemas, qualidade e manutenção não forem imediatamente identificados e atualizados, então há uma probabilidade excelente de as suas operações estarem bem longe do *Lean*".

A importância desta capacidade visual de comunicação reside no facto de permitir ter uma perceção visual e bem comunicável de indicadores de desempenho, organização espacial do chão de fábrica e da forma como os problemas são resolvidos e assinalados. Esta disposição de informação por meio de marcações, sinais sonoros, gráficos e 5S, por exemplo, aumenta a velocidade na procura e entendimento da informação, torna os problemas visíveis e ajuda na prevenção de erros, bem como fomenta o

envolvimento das equipas nas diversas operações fabris, estabelecendo uma forma de comunicação universal (Bicheno & Holweg, 2009; Feld, 2001).

2.1.4.3. Técnica 5S

Os 5S consistem numa outra ferramenta que pode ser integrada na técnica referida na secção anterior, pois, ao utiliza-la, está-se a contribuir para que visualmente e em termos organizacionais "tudo tenha um lugar e tudo esteja no seu lugar" (Feld, 2001). A técnica 5S foi uma ferramenta criada por Takashi Osada em 1980 que compreende um ciclo de cinco tarefas diferentes usadas para avaliar a capacidade de organização do local de trabalho e os padrões de gestão visual, com a intenção de criar um ambiente agradável e aumentar a produtividade e a eficiência dos sistemas produtivos. Os cinco elementos que o constituem são (Bicheno & Holweg, 2009; Feld, 2001; Peterson & Smith, 1998):

1. ***Seiri* – Separar:** onde se pretende que se distinga o que é necessário do que não o é, separando-o. Deste modo, resta-nos apenas aquilo de que realmente vamos necessitar, configurando já uma ação importante na eliminação de desperdício;
2. ***Seiton* – Organizar:** já distinguido o que vamos necessitar segue-se a fase de o dispor nos locais apropriados. Pretende-se nesta etapa que se identifiquem esses locais para facilitar a sua procura;
3. ***Seizo* – Limpeza:** que consiste, literalmente, em limpar a área de atuação onde se inclui a inspeção dos equipamentos na procura por eventuais sinais de futuros problemas, permitindo atuar preventivamente;
4. ***Seiketsu* – Padronizar:** este passo é muito importante, pois estabelece os novos padrões sobre os quais se vai passar a laborar e as ações de 5S que se irão proceder, sendo também necessário rever se os critérios usados nas etapas anteriores foram adequados;
5. ***Shitsuke* – Disciplina:** finalmente este passo é considerando o mais desafiante, pois consiste em manter o compromisso de todos para com a rotina dos 5S e do novo *standard*. Trata-se de dar formação e monitorizar o estado da situação com regularidade de forma a manter a organização disciplinada.

2.1.4.4. Relatório A3

O A3 é um relatório cuja designação deriva do facto de o tamanho deste relatório corresponder ao tamanho ISSO 216 nos padrões europeus de tamanhos de folhas de papel. Este formato de relatório popularizou-se na Toyota por ser facilmente compreendido por todos, visto possuir uma estrutura lógica que permite ter uma visão objetiva daquilo a que os autores se propuseram a resolver (Samanta, 2019).

O facto de possuir o tamanho A3 obriga a ser conciso e criterioso no seu conteúdo. Para além disso, permite a quem lê orientar a leitura para os pontos que pretende saber (Bicheno & Holweg, 2009). Isso é conseguido porque a sua estrutura segue os princípios do ciclo *PDCA (Plan, Do, Check and Act),* sendo, por isso, muito útil na resolução de problemas. Pode conter, para além do texto, imagens, gráficos e esquemas (Lenort, Staš, Holman, & Wicher, 2017). A sua estrutura típica inclui as seguintes secções (Sobek & Jimmerson, 2004):

1. ***Background***: nesta secção começa-se por indicar como é que o problema a tratar surgiu e a sua importância, contextualizando com dados pertinentes;
2. **Estado Atual:** o estado atual pretende demonstrar como é que o sistema problemático funciona, quantificando o seu prejuízo de forma a se perceber a sua extensão. Os dados devem resultar de observação direta e do envolvimento de todos os interessados e visados;
3. **Análise Causa Raiz:** após percebido em detalhe o estado atual da situação, importa chegar à análise das causas raiz do problema. Para isso devem servir-se de técnicas de resolução de problemas como é o caso dos cinco porquês (5 *Why's*);
4. **Estado Futuro:** o estado futuro diz respeito aos objetivos que se pretendem atingir ao detalhar de que forma a descoberta da causa raiz e as medidas de resolução encontradas, as também designadas contramedidas (*countermeasures*), melhoram o sistema afetado;
5. **Plano de Implementação:** este plano expõe o conjunto de etapas necessárias para alcançar o estado futuro, ordenando-as temporalmente e associando executores ou responsáveis por as concretizar;
6. **Plano de Acompanhamento:** este plano, detalha a medição efetuada das melhorias introduzidas com a indicação de como e quando foram medidas, de forma a se prever como é cada uma delas poderá afetar o sistema;
7. **Resultados:** por fim, esta secção demostra quais os resultados atingidos como forma de contribuir para a aprendizagem organizacional conseguida através da resolução deste problema.

2.1.4.5. Kaizen

Conforme mencionado anteriormente na secção 2.1.1., o *Kaizen* diz respeito à melhoria contínua, ocupando uma posição central no âmbito da casa TPS. Foi primeiramente mencionado por Imai (1997) no seu livro *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success* em 1986, tendo sido a partir desta obra que a palavra se passou a usar para descrever uma filosofia de melhoria contínua. Em Japonês resulta da junção de duas palavras: *kai*, que significa "retirar algo" e a palavra *zen* que significa "para melhorar"

que juntas formam *Kaizen*, ou seja, "retirar algo para melhorar". Esta filosofia, segundo Ortiz (2006), deve ser integrada nas atividades diárias normais, concentrando-se na eliminação de desperdícios, na criação de *standards* e em promover um ambiente de trabalho limpo e organizado, envolvendo todos os trabalhadores.

Segundo Imai (1997) uma maneira de garantir que o *Kaizen* é continuado numa organização de forma estruturada, ele orienta-se pela técnica PDCA (*Plan, Do, Check and Act*) desenvolvido por Walter Shewhart (Figura 3). Uma vez que o *Kaizen* depende em grande medida do esforço humano para a concretização da melhoria, o ciclo PDCA acaba por ser uma abordagem orientada ao processo capaz de estruturar continuamente este ciclo de melhoria.

Figura 3 - Ciclo PDCA. (Štefanić, Tošanović, & Hegedić, 2012).

De acordo com Singh & Singh (2015) as etapas deste ciclo podem ser descritas, sucintamente, da seguinte maneira:

1. ***Plan*** – nesta fase deve-se estudar a situação atual de modo a se programar a implementação de medidas com foco na melhoria que irá ser executada na fase seguinte;
2. ***Do*** – executa-se o plano desenvolvido recorrendo à formação e à efetiva implementação das alterações;
3. ***Check*** – verifica-se o efeito das alterações implementadas de modo a confirmar se os resultados desejados foram ou não atingidos;
4. ***Act*** – onde se normalizam as mudanças se estas tiverem tido o resultado desejado, implementando ações que garantam a sua implementação de uma forma permanente.

2.2 Lean Six Sigma

Esta secção apresenta brevemente a metodologia *Lean Six Sigma*. Depois da definição e principais conceitos, é apresentada a metodologia DMAIC.

2.2.1 Definição e conceitos

O *Six Sigma* é uma estratégia quantitativa que tem como objetivo aumentar o desempenho das organizações e está relacionada com o controlo estatístico e probabilístico de processos. Assume que todo o fator do processo pode ser representado por uma curva de distribuição estatística em que o seis *sigma* representa os limites desse processo, a sua variação (Pyzdek & Keller, 2009).

Esta ferramenta nasceu na Motorola em 1987 numa altura em que era preciso ganhar vantagem competitiva face aos seus concorrentes (Werkema, 2012). Com a sua aplicação a empresa conseguiu aumentar as suas receitas passando de 2,3 biliões de dólares para 8,3 biliões de dólares de lucro em apenas um ano. Por este feito, obteve o Prémio Nacional da Qualidade Malcolm Baldrige pelo então presidente americano Reagan (Pyzdek & Keller, 2009; Werkema, 2012).

No entanto, até a década de 90, o *Six Sigma* apenas era visto como uma ferramenta estatística usada para restringir o surgimento de defeitos tendo evoluído nas duas últimas décadas para um método de resolução de problemas estatísticos focado nos processos das organizações, seguindo uma abordagem estruturada de resolução de problemas inspirada no ciclo PDCA, referido na secção 2.1.4.5, para eliminar as causas raiz dos problemas de uma forma geral, o *Define, Measure, Analyse, Improve and Control* (DMAIC) (Sunder, Ganesh, & Marathe, 2018).

É, contudo, mais tarde que ao se constatar algumas limitações práticas do método *Six Sigma* que se percebe a necessidade de uma abordagem mais abrangente. Por exemplo, George (2002) apresenta um exemplo ilustrativo dessa limitação quando uma equipa de uma empresa estava a tentar reduzir o *lead time* de entrega ao cliente para 12 dias usando *Six Sigma,* mas por mais que tentassem não conseguiam controlar, nem diminuir a variação no *lead time*. Segundo Sunder et al. (2018) o livro "*Lean Six Sigma: Combining Six Sigma with Lean Production Speed*" (2002) foi o primeiro registo da utilização do termo *Lean Six Sigma* e apresenta a junção benéfica e complementar destas duas metodologias.

Assim, as limitações de *Six Sigma* podem ser ultrapassadas pelo elemento chave que a produção *Lean* traz para a resolução dos problemas. Esta atua na cadeia de valor no sentido de eliminar desperdícios e encurtar o *lead time,* enquanto que o *Six Sigma* se foca na qualidade e na redução e eliminação de

defeitos. Percebeu-se, assim, que tanto o fator tempo como a qualidade, são fatores críticos para o desempenho das empresas e valorizado pelo cliente, sendo vantajosa a junção destas duas metodologias. O mesmo autor (M. George, 2002) define, assim, *Lean Six Sigma* como a "metodologia que maximiza o valor do *Shareholder* ao atingir um rácio rápido de melhoria na satisfação do cliente, custo, qualidade, velocidade do processo e no capital investido". No entanto, é importante realçar que além do tempo, qualidade e custo, o TPS considera também crucial considerar como objetivos a segurança e a moral das pessoas, como se pode ver na casa TPS da secção 2.1.1.

2.2.2 Metodologia DMAIC e ferramentas

Nesta secção é realizada a descrição de cada uma das fases do DMAIC, assim como de algumas ferramentas que podem ser usadas em cada uma das etapas. É de ressalvar que esta ferramenta assenta numa estrutura lógica de cinco etapas que devem ser seguidas de forma sequencial, a menos que se encontre uma solução para o problema que comporte um risco mínimo de implementação, ou seja, que cause baixa disrupção no processo, pouco ou nenhum impacto nos clientes e baixo custo de implementação (George, Rowlands, Price, & Maxey, 2005).

Há autores que defendem que este é um ciclo que pode sofrer várias iterações até se atingirem os objetivos (Kumar, Crocker, Chitra, & Saranga, 2006). Uma característica desta ferramenta é que encoraja a criatividade de forma limitada pelos processos, produto ou serviço (George et al., 2005).

2.2.2.1. Define

Nesta fase, segundo George (2005), clarifica-se o espectro do projeto. Significa isto que os objetivos a atingir devem ser descritos, quer em termos de desempenho como em valores monetários. Importa, por isso, perceber a magnitude da oportunidade que se pretende alcançar. Neste passo ajuda avaliar o histórico do problema. Estas questões são relevantes pois podem significar a aprovação ou patrocínio da gestão de topo que deve estar alinhada com o projeto (Werkema, 2012).

Nesta fase também se deve definir os membros da equipa que integrarão o projeto, bem como as possíveis contribuições de cada um. Deve-se perceber o impacto e as implicações do projeto em termos *macro* usando o esquema SIPOC (acrónimo de *Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers*) que tem em consideração os seguintes fatores: Fornecedores, Entradas, Processo, Saídas e Clientes na caraterização de um produto ou processo. Um calendário com a previsão da conclusão das diferentes etapas que irão seguir permite ainda prever e organizar o trabalho (George et al., 2005; Werkema, 2012).

Uma ferramenta que aglomera de uma forma estruturada estes dados é o *Project Charter*. Este é um esquema com sete divisões onde se expõe os elementos necessários nesta fase. São eles:

1. Declaração do Problema - onde se inclui o impacto do projeto, o problema, o seu historial e magnitude;
2. Patrocinadores Chave - quem são e de que maneira vão estar envolvidos no projeto;
3. Impacto no negócio – ou seja, os benefícios esperados;
4. Declaração de objetivos – com indicadores bem definidos onde estão presentes os valores alvo;
5. Verificação do Espetro do Projeto – se é adequado e pertinente para se alcançarem os objetivos traçados;
6. Plano do Projeto – onde estão definidos prazos e metas a atingir;
7. Membros da Equipa – quem são, quais as suas competências e responsabilidades.

2.2.2.2. Measure

Nesta fase pretende-se perceber o estado atual do processo e recolher informação fidedigna que oriente a equipa no processo de busca pela causa raiz do problema (George et al., 2005). Deve-se, num primeiro momento, validar o mapa do processo de forma a garantir que representa o fluxo do processo atual e depois disso decidir quais são as métricas a medir e se os dados existentes do processo servem para a análise ou se precisam de retirar dados novos e diferentes. Esta fase é importante porque dá a oportunidade de se avaliar o sistema métrico existente antes da recolha, propriamente dita, de dados para a investigação. Esta recolha de dados deve, por isso, quantificar as medidas do processo de modo a serem posteriormente avaliadas (George et al., 2005; Kumar et al., 2006).

Uma das ferramentas mais usadas é o *Measurement System Analysis* (MAS) que consiste num outro conjunto alargado de outras ferramentas que, de uma forma geral, pretendem averiguar se o sistema gera dados válidos (George et al., 2005).

Existem vários tipos de análises que podem ser feitas neste âmbito. Pode-se avaliar o conceito de repetibilidade e/ou reprodutibilidade, ou seja, no primeiro caso está relacionado com a variabilidade inerente do próprio sistema de medição, por exemplo, se a mesma pessoa é consistente nos seus resultados. No segundo caso, tem a ver com a variação na média das medições feitas por diferentes operadores usando o mesmo instrumento ou técnica de medição. Para além destes conceitos é possível avaliar também a precisão e a exatidão dos dados. Pode-se proceder ainda ao estudo da sua estabilidade, entenda-se, se estão estatisticamente controlados, se consegue discriminar casos, ou seja, de detetar mudanças numa característica ou se os instrumentos estão calibrados ou não (linearidade – capacidade

de obter resultados consistentes de instrumentos de medição). É comum o MAS servir-se de gráficos de linhas, gráficos de Pareto (como forma de priorizar ações ou análises), histogramas, entre outros (George et al., 2005).

2.2.2.3. Analyse

A etapa da análise tem como propósito examinar os dados recolhidos no sentido de se determinar as causas que provocam o problema a resolver. Para isso deve-se perceber quais as entradas (*inputs*) críticas no processo porque, dependendo das suas saídas (*outputs*), podem deparar-se com diferentes causas e deste modo, deve ser feita posteriormente uma análise de causa-efeito.

Para o efeito, o diagrama espinha de peixe ajuda a encontrar possíveis fatores que afetem o *output.* De seguida, por exemplo, uma matriz de duas entradas onde ao se relacionar os inputs com os outputs se procede a uma pontuação de probabilidade ou força da possível relação entre variáveis, auxiliando na identificação da provável causa raiz.

Esta análise irá ajudar a estabelecer as potenciais causas às quais deve ser testada a sua correlação de maneira a confirmar ou refutar a sua relação com o problema através, por exemplo, de uma análise de regressão. Posteriormente importa determinar, com base nessa análise, quais as causas raiz que vão ser intervencionadas em primeiro lugar (George et al., 2005; Werkema, 2012).

2.2.2.4. Improve

Esta é a fase onde se devem gerar ideias de resolução para as causas raiz anteriormente selecionadas como mais prováveis. Uma ferramenta que pode ser usada nesta fase é o *Brainstorming*, onde a equipa lança possíveis soluções alvo de uma posterior análise. Para se realizar essa seleção de ideias uma forma útil de agrupar as ideias em categorias é através de um diagrama de afinidades. Depois de organizadas em categorias pode-se usar uma Matriz de Esforço-Benefício para se proceder à seleção da melhor solução.

Seguidamente, devem-se implementar as melhorias avaliando a sua eficácia, numa primeira fase, em modo piloto, ou seja, realizando um teste, documentando os seus efeitos de modo a garantir que produzirá os efeitos desejados antes de o implementar em toda a escala (George et al., 2005).

2.2.2.5. Control

Finalmente, nesta fase valida-se estatisticamente a solução encontrada, institucionaliza-se as novas práticas e novos procedimentos, padronizando-as, no sentido de se manterem as melhorias efetuadas,

desenvolvendo um plano de monitorização e controlo do processo de médio prazo. Nesse plano, deve constar um conjunto de ações corretivas caso surjam novamente problemas no processo. Além disso, auditam-se os resultados recolhendo novos dados e estudam-se as lições aprendidas ao longo do projeto de forma a validarem o fim do projeto e as soluções encontradas (George et al., 2005; Pyzdek & Keller, 2009; Werkema, 2012).

2.3 Sistemas de produção

Neste subcapítulo faz–se uma breve revisão sobre os sistemas de produção, destacando o projeto de sistemas de produção orientados ao produto (SPOP), uma vez que é o tipo de sistema existente na empresa onde foi realizada esta dissertação.

2.3.1 Tipos de sistemas

Os sistemas de produção podem classificar-se segundo duas categorias: a primeira diz respeito aos Sistemas de Produção Orientados à Função (SPOF) e o segundo aos Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP) (Alves, 2016).

Os SPOF são também comummente designados por oficinas ou *Job Shops,* pois caracterizam-se por possuírem uma grande variedade de componentes e máquinas de uso geral para laborar numa disposição que privilegia a função do equipamento. Possuem a vantagem de permitirem produzir uma ampla variedade de produtos com a contrapartida de puderem apenas produzir em reduzida escala em lotes de quantidades reduzidas. Requerem, adicionalmente, trabalhadores com níveis de flexibilidade elevados dada a diversidade de equipamentos com que precisam de trabalhar (Black & Hunter, 2003).

Já os SPOP são constituídos por linhas e/ou células de produção como alternativa às oficinas, uma vez que proporcionam os benefícios operacionais do fluxo das linhas de produção (Irani, 1999). Este é um ponto interessante porque remete para o seu posicionamento moderado e flexível face a outros sistemas produtivos como são as próprias linhas de produção e a oficina em termos de volume e flexibilidade produtiva, conforme ilustra a Figura 4. Nomeadamente, porque proporcionam uma simplificação e ajuste num paradigma de maior variedade e baixo volume de produção (Kruger, 2012).

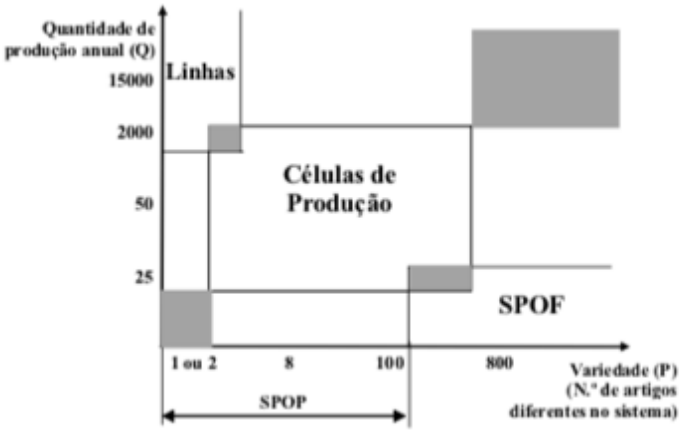


Figura 4 - Posicionamento Células de produção, SPOF e Linhas, (Alves, 2007).

Para além das vantagens já mencionadas pode-se acrescentar que reduz a distância total percorrida pelos lotes de peças da mesma família o que se pode traduzir numa redução de *lead time* entre sucessivas operações (Irani, 1999; Pimentel & Martins, 2016). Nos casos em que os produtos da família possuem sequências de operação idênticas ou semelhantes, estas podem ser sequenciadas consecutivamente reduzindo assim os tempos de troca da configuração (Figura 5). Finalmente, o controlo de qualidade é simplificado, pois os operadores nas máquinas da célula podem cruzar informação entre si sobre peças defeituosas (Irani, 1999).

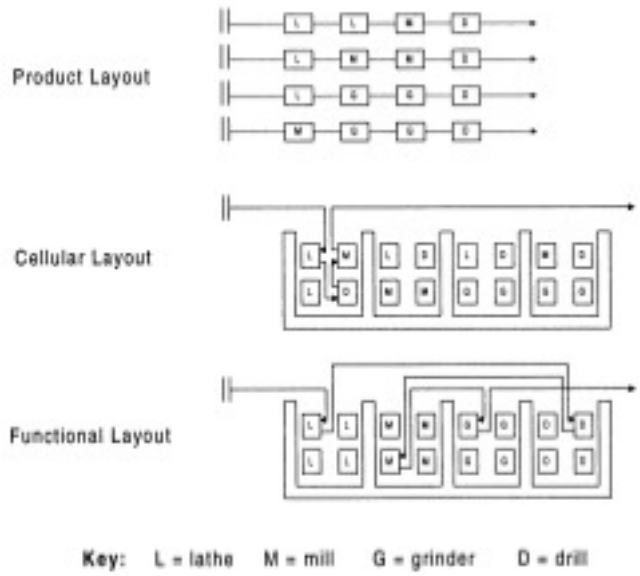


Figura 5 - Diferentes movimentações consoante a organização do Layout, (Irani, 1999).

2.3.2 Projeto de sistemas de produção orientados ao produto

Estes sistemas caracterizam-se por serem constituídos por um conjunto interligado de recursos ou células de produção que de forma simultânea e coordenada produzem um produto ou uma gama de produtos similares, incluindo tanto as fases de fabricação como de montagem (Alves, Lima, & Silva,

2003). Uma reconfiguração deste tipo de sistemas acontece, muitas vezes, como forma de adaptação a novos produtos ou famílias deste, dada a variação da procura e das necessidades de mercado (Alves, 2016).

As células de produção envolvem o processamento de um conjunto de produtos similares num grupo dedicado de máquinas ou processos, ou seja, o processamento de famílias de produtos. Em termos de definição, pode ser definido como um grupo independente de máquinas funcionais dissimilares, juntamente localizadas no chão, dedicadas à produção de família de produtos similares (Ham, Hitomi, & Teruhiko, 1985).

Para projetar sistemas de produção é necessário recorrer a metodologias de projeto/reconfiguração. Alves (1999, 2007, 2016) propôs uma dessas metodologias baseando-se em outras já existentes. Esta metodologia dividia-se em três principais fases de projeto: planeamento genérico, conceptual e detalhado. Esta foi criada para colmatar uma lacuna nas metodologias de até então que não consideravam o projeto iterativo de formação do sistema em níveis conceptuais hierárquicos (Alves & Carmo-Silva, 2006).

O primeiro tem como base a estratégia de produção onde elementos como os objetivos empresariais, as necessidades dos clientes, a variedade de produtos e recursos tecnológicos, entre outros, são tidos em conta como forma de avaliar a viabilidade à implementação de sistemas de produção orientados ao produto. Após esta fase, deve-se selecionar as configurações conceptuais das células e de postos de trabalho quando confrontados com as quantidades e requisitos de transformação dos produtos a produzir, denominando-se como a fase do Projeto Conceptual. A fase mais importante para esta dissertação é a que se segue à do projeto conceptual, a fase do Projeto Detalhado. Esta fase compreende cinco etapas:

1. Formação de Famílias de Produtos;
2. Instanciação das Células Conceptuais;
3. Instanciação de Postos de Trabalho;
4. Organização Intracelular e Controlo de Cada Célula;
5. Arranjo Integrado do SPOP.

Na etapa 1., como o próprio nome indica procede-se à formação de famílias de produtos, quando por vias da variedade de produtos e da sua mistura assim o justificam, pois se para um produto as quantidades o justificarem pode-se afetar uma única célula para esse produto, não exigindo o processo

de formação de famílias. Existem várias técnicas para a formação destas famílias, como é exemplo a simples análise visual (ou Inspeção Visual) (Alves, 2016) ou a *Production Flow Analysis* que segue um algoritmo que parte da frequência das máquinas para os diferentes produtos (Irani, 1999), ou vários métodos de agrupamento (*clustering*) podem ser usados para formar famílias de peças/produtos.

Na etapa 2., pretende-se determinar a configuração operacional mais adequada para as células, mas que requer um procedimento formado por quatro etapas pela respetiva ordem: a) Cálculo de máquinas ou equipamentos e afetação às famílias; b) Identificar a existência ou não de fluxos intercelulares; c) Definir fluxos para células conceptuais e, por fim, d) Selecionar a configuração operacional. Tal como na etapa anterior, vários métodos de agrupamento podem ser usados para formar famílias. Um desses métodos que pode também ajudar a encontrar agrupamentos de máquinas pode ser o método *Direct Cluster Analysis* (DCA) que através de manipulação matricial agrupa as peças em família e as máquinas conforme a sua afetação a peças/produtos (Murugan & Selladurai, 2011).

Na etapa 3., a da instanciação dos postos de trabalho, pretende-se encontrar os postos de trabalho a utilizar bem como o número e o tipo de competências dos colaboradores a integrar nas células. A mesma autora propõe um procedimento de três passos: a) calcular o número de operadores para cada célula e para isso deve-se socorrer do cálculo do *Takt-Time* (já referido na secção 2.1.4.1) e respetivo tempo de ciclo do sistema; b) o segundo passo significa fazer o balanceamento das células; c) a última etapa corresponde a selecionar e afetar os operadores às células.

O balanceamento pretende distribuir as tarefas de forma uniforme pelos postos de trabalho de modo a que o tempo de paragem do colaborador possa ser minimizado, bem como obter um equilíbrio das capacidades de produção (Kumar & Mahto, 2013).

Para o efeito é útil recorrer a uma ferramenta chamada de gráfico *Yamazumi* que pode ser utilizada também como forma de aplicar *Kaizen* (apresentado na secção 2.1.4.5) no balanceamento de linhas de produção (Talapatra, Sharif-Al-Mahmud, & Kabir, 2018). Para usá-lo é necessário conhecer detalhadamente o processo em questão, pois o gráfico é constituído por colunas que corresponderão ao tempo de ciclo de determinada operação (Czifra, Szabó, MÍkva, & Vaňová, 2019) nas quais está presente a carga de trabalho detalhada e distribuída (Talapatra et al., 2018). A partir deste passo as operações podem ser assinaladas com cores distintas de forma a classificar cada operação conforme acrescentam valor, não acrescentam valor, mas são necessárias ou não acrescentam, de todo, valor. Assim, é possível simular e perceber onde se pode melhorar e alocar o quê em cada operação.

A etapa 4. tem como objetivo organizar a célula de modo a se encontrar um arranjo adequado para as máquinas e equipamentos e determinar de que forma os operadores vão organizar-se, operar e se relacionar na célula. A escolha da forma como se vai sequenciar e lançar os produtos também é importante. Uma vez mais, de uma forma resumida seguem-se as seguintes atividades: **a)** Definir a implantação intracelular, onde o Diagrama de *Muther* pode ser uma ferramenta a utilizar, pois a partir de um grau de relacionamento atribuído pelo autor, segundo os seus critérios, permite relacionar as entidades em estudo e construir a sua implantação (Muther & Hales, 2015); **b)** Escolher o modo operatório; e; **c)** Sequenciar e lançar os produtos individualmente ou em lote, sendo que neste caso se deve privilegiar, conforme já mencionado, a utilização do *one-piece-flow* independentemente da solução a adotar.

Relativamente à implantação intracelular devem-se considerar os diversos tipos de implantação, como as células em W, em L e em linha, por exemplo (Alves, 1999). No entanto, destaca-se as *U-shaped cells* pelo facto de estarem muito associadas ao conceito *Just-In-Time*, característico da produção *Lean* (Miltenburg, 2001).

De acordo com Aase, Olson, & Schniederjans, (2004), são várias as vantagens que se podem associar a esta configuração, entre elas, o facto de os colaboradores se poderem mover entre os dois braços da célula em U podendo combinar entre si várias operações. Essa combinação acaba por conferir flexibilidade á célula permitindo até operar com menos trabalhadores quando comparado com uma linha tradicional. Possibilita ainda ganhos em termos de produtividade ao ser uma configuração propícia à implementação do conceito de *One-piece-flow* integrado na produção *Just-In-Time*.

Considerando a segunda atividade da etapa 4 (escolha do modo operatório) deve-se ter em conta as diversas alternativas existentes. Algumas delas são: a *Working balance*, onde há uma distribuição balanceada entre os colaboradores e respetiva carga de trabalho; *Rabbit Chase* em que os colaboradores acompanham a peça por todo o seu percurso; *Baton-touch*, que se caracteriza por possuir uma carga equilibrada de trabalho com exceção do primeiro e/ou último elemento que, apesar de possuir menos carga de trabalho, ocupa parte do tempo em tarefas de controlo e coordenação da célula; *Bucket-brigades*, onde se dispõe os colaboradores conforme a sua performance pelos postos de trabalho funcionando de modo a que os elementos mais rápidos ajudam os mais lentos, autorregulando-se; *Toyota Sewing System*, onde apesar de os colaboradores possuírem uma divisão equilibrada de carga de trabalho existem pontos de sobreposição onde há entreajuda, funcionando como fator de equilíbrio (Alves, 2007, 2018). Para além destas destaca-se o modo *Chaku-Chaku*, pelo facto de consistir no

trabalho de carregar e descarregar os diversos equipamentos de forma sequencial e contínua, por um único operador, seguindo o princípio *one-piece-flow* (Alves, 2018a; LEI, 2020).

Na última fase, a fase 5., procede-se ao arranjo integrado do Sistema de Produção Orientado ao Produto onde o foco é a definição da implantação intercelular das células/linhas, e, portanto, de que modo é que as diferentes células/linhas se vão dispor e relacionar entre si. Nesta relação importa considerar o paradigma de *Lean Production,* pois na tentativa da sua implementação e uma vez considerada nas etapas anteriores deve-se fazer valer a implementação da produção puxada (*Pull Production*), já referido na secção 2.1.1. onde, para tal, a utilização do *Kanban* concretiza essa ambição. Para além disso, há um aspeto em termos de planeamento e controlo da produção que também importa acautelar de forma gerir os fluxos e necessidades de recursos.

2.4 Indicadores de Desempenho

Nesta secção são apresentados os principais indicadores de desempenho que se revelaram relevantes na persecução do presente projeto.

Tabela 1 - Indicadores de desempenho

Indicador	Descrição	Formula de Cálculo
Takt-Time (TT)	Ritmo produtivo necessário para satisfazer a procura do mercado/cliente.	$\text{Takt Time} = \frac{Tempo\ disponível\ para\ Produção}{Procura}$
Operacional Efficiency (OE)	Relação entre o tempo esperado de produção para uma determinada quantidade de um produto e o tempo real de produção.	$OE = \frac{Tempo\ de\ Ciclo\ do\ Sistema\ \times\ Quantidade\ de\ Produção}{Tempo\ de\ Produção\ Real}$
Índice de Planura	Mede os desvios em tempo de ciclo entre os postos de trabalho, sendo que quanto mais próximo de zero mais balanceado se encontra o sistema.	$Índice\ de\ Planura = \sqrt{\sum(TC\ Sistema - TC\ Posto\ de\ Trabalho)^2}$
Rácio de Valor Acrescentado (RVA)	Percentagem do tempo de atravessamento usada em atividades indispensáveis.	$\text{Rácio de Valor Acrescentado} = \frac{Tempo\ de\ Processamento}{Tempo\ de\ Atravessamento} \times 100$
WIP	Quantidade de produto em curso de no sistema produtivo.	-
Tempo de Atravessamento	Tempo que um dado artigo demora a atravessar o sistema produtivo.	-

3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo é apresentada a empresa onde decorreu a presente dissertação de mestrado, a Aptiv. Primeiramente apresenta-se o grupo Aptiv a nível mundial de modo a situá-la neste plano para, seguidamente, se abordar a sua presença a nível nacional. Aborda-se ainda de uma forma sucinta a história da Aptiv em Braga bem como os seus principais produtos e clientes, culminando numa descrição geral do seu sistema produtivo em termos organizacionais.

3.1 Grupo Aptiv

A Aptiv é uma empresa multinacional americana cotada em bolsa cujo foco é o desenvolvimento de tecnologias para o setor automóvel. Para isso, conta com 126 fábricas dispersas em 44 países, 15 centros técnicos de desenvolvimento e mais de 20 000 engenheiros a nível mundial. Encontra-se sediada na cidade de Dublin na Irlanda e afirma-se líder no âmbito da "arquitetura" automóvel integral, dado ser o único player, à data, fornecedor de soluções que constituem o *cérebro* (soluções de software) e *sistema nervoso* (soluções de alimentação e sinal) dos veículos. A Aptiv tem como missão tornar os veículos mais seguros, ambientalmente sustentáveis e mais conectados, providenciando o futuro da mobilidade global. Assim, opera em quatro áreas: Experiência do Utilizador e Segurança Avançada, Soluções de alimentação e sinal, Condução autónoma e Serviços conectados.

Esta empresa resultou em 2017 de uma *spin off* da Delphi que a dividiu em duas empresas distintas: a Aptiv, focada nas áreas anteriormente mencionadas e a *Delphi Technologies,* concentrada em *Powertrain*, propulsão avançada e soluções de pós-venda, também do setor automóvel (Figura 6).

Figura 6 - Spin-Off Delphi, (Aptiv)

No que diz respeito à presença da Aptiv em Portugal, esta está presente em três localidades do País: Braga, Castelo Branco e Lumiar. Nas primeiras duas cidades encontram-se os complexos produtivos e em Lumiar um centro técnico de excelência.

3.2 Aptiv Braga

A unidade industrial de Braga, onde a presente dissertação se desenvolveu, começou a sua história em 1965, na altura de nome GRUNDIG, dedicada à produção de autorrádios, sistemas de áudio, dispositivos HiFi, televisões, bem como telefones e outros produtos. Em 1973, nesta unidade deu-se início à produção exclusiva de autorrádios e em 1990 a unidade de Braga passa a chamar-se Grundig Car Intermedia Systems.

Em 2003 a DELPHI adquire a unidade de Braga e em 2017 dá-se o *Spin-off* que dá origem à Delphi Technologies e a Aptiv, sendo que a unidade de Braga passou a ser Aptiv.

3.2.1 Produtos e Clientes

Na gama de produtos produzidos destacam-se os autorrádios, sistemas de navegação, *displays* e ainda módulos controladores para um conjunto diverso de clientes do panorama da indústria automóvel mundial (Figura 7).

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

Figura 7 - Clientes e Produtos Aptiv Braga

3.2.2 Instalações

A unidade em estudo é constituída por quatro edifícios, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 - Edifícios do Complexo de Produção Aptiv Braga.

O edifício 1 diz respeito à zona responsável pela produção de componentes eletrónicos onde os processos de montagem automática de componentes eletrónicos, designados de *Surface Mount Technology (SMT),* montagem manual de componentes eletrónicos, designada de *Circuit Board Assembly (CBA)* e montagem final com a designação de *Final Assembly (FA)* constituem a divisão da planta, conforme ilustra a Figura 9.

Figura 9 - Layout Edifício 1.

No Edifício 2, onde o trabalho foi desenvolvido, dedica-se, para além da montagem final de componentes eletrónicos associada à área de *Infotainment Final Assembly* e *Conectivity & Security,* à produção de componentes plásticos, designada de *Plastic Production*, de acordo com a Figura 10.

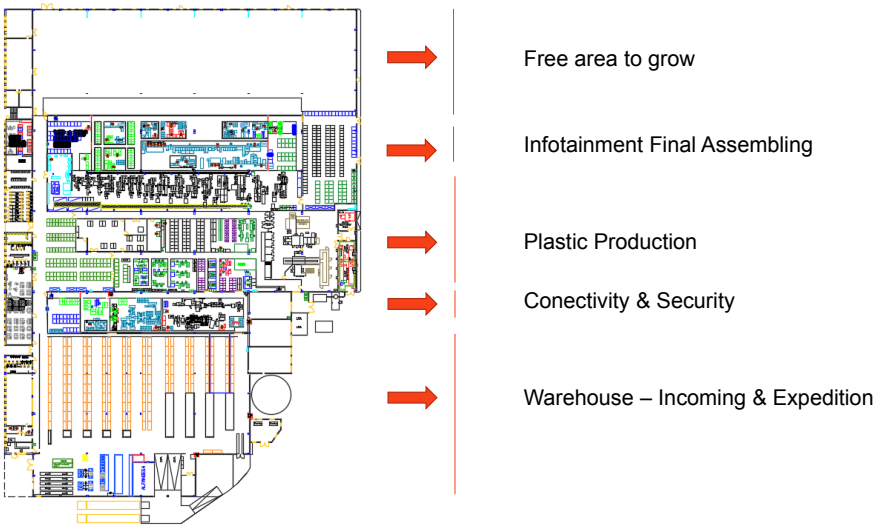


Figura 10 - Layout Edifício 2.

No edifício 3 encontra-se um armazém cujo destino é o armazenamento de matéria-prima, sendo que é no edifício 4 que está instalado o recente centro técnico destinado ao desenvolvimento de novos produtos de ponta para o setor.

3.2.3 Sistema produtivo geral

Nesta secção descrevem-se alguns dos principais edifícios do complexo produtivo de Braga, do edifício 1 e 2. Como se viu na secção anterior, no edifício 1 tem-se as áreas produtivas: *Surface Mount Technology - SMT*; *Circuit Board Assembly - CBA*; *Final Assembly – FA*. No edifício 2 tem-se: *Plastic Production*; *Final Assembly Infotainment*; *Conectivity & Security*. Nas secções seguintes descreve-se de forma muito breve estas áreas produtivas.

3.2.3.1. Surface Mount Technology – SMT

O processo produtivo inicia-se nesta área produtiva onde se dá a montagem automática de componentes eletrónicos. Numa etapa inicial é feita a programação de circuitos integrados, chamados de *Integrated Circuits* (IC), destinada a programar a memória dos componentes que serão posteriormente introduzidos em placas eletrónicas, designadas de *Printed Circuit Boards* (PCB). Para garantir a rastreabilidade destas placas, estas sofrem um processo de impressão a laser, *Laser Marking*, de onde resulta um código designado de *Quick Response Code* (QRC).

Após estas etapas segue-se a colocação de uma pasta de solda na placa, cujo processo se designa de *reflow*, com a função de fixar os componentes na placa. Aplicado o *reflow*, as placas são inspecionadas num processo denominado de *Solder Paste Inspection (SPI)* a fim de averiguar a correta colocação desta

pasta. Uma vez concluída com sucesso esta inspeção, as placas passam então numa máquina de *Pick & Place* onde são finalmente inseridos os componentes eletrónicos anteriormente programados.

De seguida, há lugar a um processo de soldadura onde o *reflow* anteriormente aplicado seca, garantindo a fixação efetiva dos componentes já inseridos. Finalmente, e de forma a garantir a não existência de defeitos e que todos os componentes encontram-se corretamente inseridos, as placas passam por uma inspeção numa máquina designada de *Automated Optical Inspection (AOI)* após a qual são colocadas em *containers* para seguirem para os próximos processos. Estas etapas encontram-se esquematizadas na Figura 11. As designações são as usadas na empresa e a simbologia é a definida para representar sistemas de produção (Ishiwata, 1991).

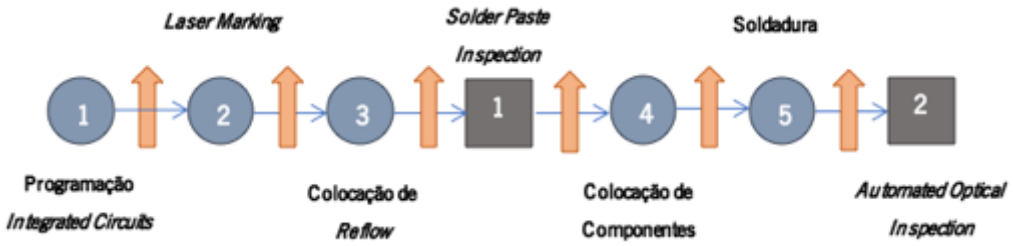


Figura 11 - Fluxograma Resumo Surface Mount Technology.

3.2.3.2. Circuit Board Assembly – CBA

Nesta área ocorre a colocação manual de componentes que devido à sua dimensão e requisitos necessitam de ser colocadas manualmente. A razão pela qual o processo anterior não consegue a inserção destes componentes, deve-se ao facto de os componentes agora inseridos necessitarem de perfurar o PCB o que, por razões técnicas e dadas as dimensões elevadas dos componentes inseridos relativamente aos da secção anterior, não é possível. Assim, as placas passam depois por um processo de separação, individualizando-as num processo de *Milling* e/ou de eliminação de excessos de placa, *arrays*, denominado de *Blade Singulation*, onde singuladoras procedem à sua remoção.

Uma vez terminada a etapa anterior as placas seguem para uma linha onde são alvo de quatro operações: colocação manual de componentes, fixação mecânica ou *clinch*, soldadura por onda e, por fim, uma inspeção visual às placas eletrónicas.

Nesta área produtiva encontra-se também uma zona de *sub-assembly* onde se realiza uma pré-montagem de componentes afetos aos diferentes modelos produzidos e ainda uma zona com equipamento de *Coating* onde é colocada nas placas uma camada protetora de um material líquido que, uma vez seco, protege contra variações de humidade e temperatura.

Para além das etapas mencionadas anteriormente procede-se adicionalmente a uma fase de testes de circuitos, *In Circuit Test* (ICT) com o objetivo de detetar curto-circuitos nas placas. Estas etapas podem ser observadas de forma resumida na Figura 12.

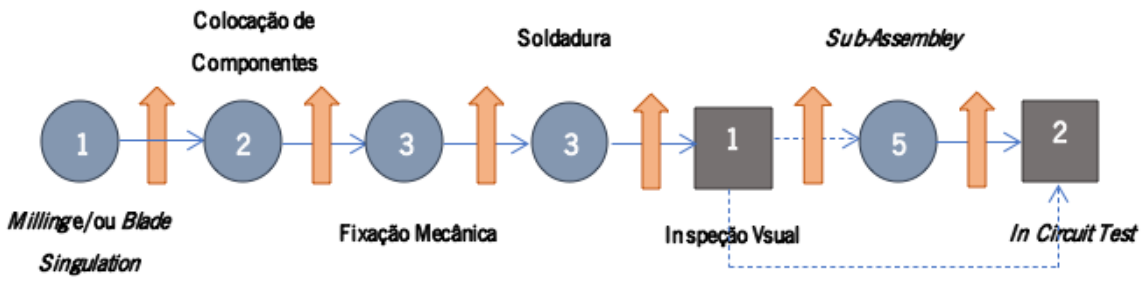


Figura 12 - Diagrama Resumo Circuit Board Assembly.

3.2.3.3. Final Assembly

Na montagem final é onde se adiciona, às placas eletrónicas vindas de CBA, os diferentes componentes que constituem os vários produtos finais. Esta área é, por isso, constituída por linhas de montagem finais e duas zonas de pré-montagem.

Relativamente às zonas de pré-montagem devem distinguir-se uma dedicada à junção de blendas provenientes do edifício 2, com placas de serviço vindas de CBA e outra dedicada à montagem do mecanismo de leitor de CD com uma chapa denominada de *bracket*. Após estas pré-montagens podem seguir para as linhas de montagem final.

Nas linhas de montagem final propriamente ditas, para além de receberem produtos semiacabados das zonas mencionadas previamente, também se procede à associação manual de componentes comuns aos produtos, tais como caixilhos, blendas, mecanismos de CD e tampas, numa fase inicial. Após estas montagens segue-se a fase de testes mecânicos e elétricos culminando na etiquetagem e embalamento para o cliente final (Figura 13).

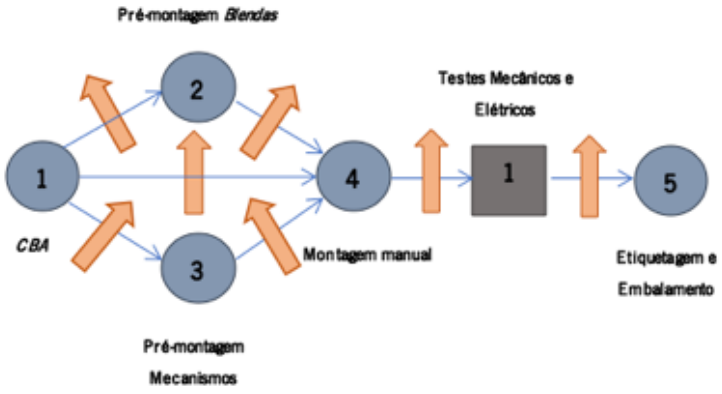


Figura 13 - Diagrama Resumo Final Assembly.

3.2.3.4. Plastic Production

Nesta área produtiva, instalada no edifício 2, procede-se à produção de componentes plásticos, tais como blendas, botões, teclas e outros componentes, que farão parte dos produtos finais. O processo produtivo dos plásticos inicia-se pela fase de injeção. Nesta fase o granulado, material plástico, assume diferentes formas conforme o molde utilizado. A fase seguinte consiste na pintura onde inicialmente as peças são colocadas em tabuleiros específicos, *jigs*, permitindo a sua correta disposição e ainda se procede a uma limpeza de maneira a retirar eventuais impurezas que comprometessem a qualidade da pintura.

Terminada a pintura é efetuada a 100% a inspeção visual, as peças seguem para a montagem final de plásticos onde, para além da montagem propriamente dita, se efetua ainda a soldadura, tampografia e gravação a laser de elementos específicos do produto, se assim o necessitarem. No final também se procede a mais uma inspeção visual dos produtos antes de serem distribuídos pelas áreas de produção de componentes eletrónicos localizadas no edifício 1 e 2 (Figura 14).

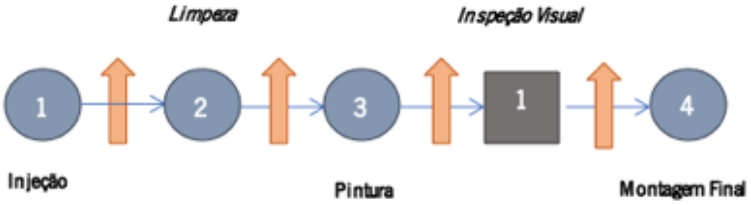


Figura 14 - Diagrama Resumo Plastic Production.

3.2.3.5. Final Assembly Infotainment

Esta área apresenta uma função e estrutura semelhante à existente no edifício 1, pelo que se pode classificar como uma zona produtiva complementar à principal instalada no edifício 1, cuja produção é variável e dependente das quantidades planeadas de produção e necessidades de espaço.

Um dos principais produtos produzidos nesta zona é um módulo eletrónico que passa inicialmente pela colocação de um conjunto de placas numa *cover* inferior, passando depois por um processo de colocação de uma camada espessa de um líquido que solidifica rapidamente de modo a proteger contra infiltrações nos componentes, terminando na colocação automática de uma *cover* superior, configurando o produto final.

Nesta área tem também lugar a junção de componentes eletrónicos provenientes do edifício 1 com componentes plásticos com origem no presente edifício, de onde se destaca a necessidade de serem efetuados testes mecânicos e elétricos, à semelhança do que acontece nesta secção do edifício 1.

Após as montagens finais os produtos são embalados com destino ao cliente final (Figura 15).

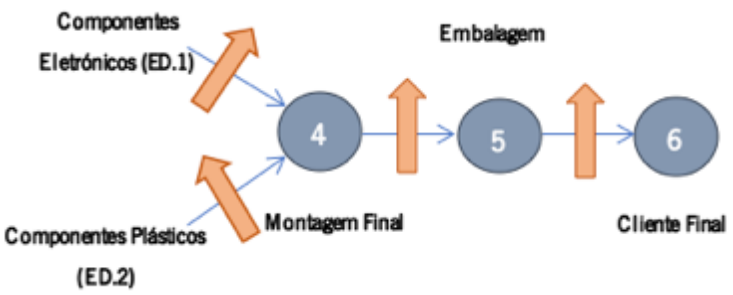


Figura 15 - Diagrama Resumo Final Assembly Infotainment.

3.2.3.6. Conectivity & Security.

Nesta zona produtiva ocorre a produção de um módulo eletrónico constituído por duas placas: uma placa eletrónica e uma placa *Power*. A placa eletrónica tem origem no edifício 1, onde já atravessou os processos contidos em SMT e CBA, pelo que já vem com os seus componentes inseridos. Esta placa, é armazenada em rampas antes de seguirem para o processo produtivo. Deste modo, ao dar entrada no processo produtivo sofre um processo de colocação de uma camada fina de proteção, *coating*, aguardando a sua secagem para posterior junção à placa *Power*. Esta inicia o processo produtivo no próprio edifício, sendo armazenada, primeiramente, sob a forma de PCB com microcomponentes vindos do fornecedor, sofrendo posteriormente, no processo produtivo, a inserção dos restantes componentes. Ambas as placas, após o seu "casamento", irão ser alvo de vários testes eletrónicos e programação, sendo previamente colocado o revestimento plástico do módulo e respetiva etiqueta. Finalmente são sujeitas a nova inspeção visual após o qual são embalados para seguirem para o cliente final (Figura 16).

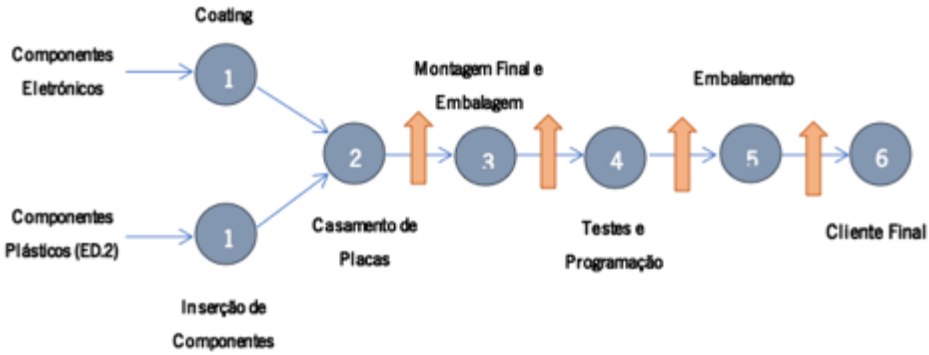


Figura 16 - Diagrama Resumo Conectivity & Security.

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DA SITUAÇÃO ATUAL

Neste capítulo é feita uma descrição do processo produtivo associado ao produto "A", que por motivos de confidencialidade não poderá ser mencionado a sua verdadeira designação, bem como a identificação dos diferentes problemas diagnosticados. Para esta identificação foi necessário fazer uma análise critica extensa fazendo observação do espaço fabril, analisando documentação interna, dialogando com as pessoas e usando diversas ferramentas de análise.

4.1 Processo produtivo do produto "A"

Esta secção apresenta o processo produtivo do produto A, a lista de materiais constituintes deste, os fluxos de produção assim como de abastecimento.

4.1.1 Produto Final

O produto final, produto A, trata-se de um módulo eletrónico composto por duas placas: 1) placa eletrónica e 2) placa *power,* por controlar a potência. Ambas são produzidas separadamente sendo depois montadas num processo de prensagem de uma na outra. Assim, as duas placas sofrem processos produtivos diferentes até ao momento do seu "casamento" onde, após o qual, seguem um processo comum. Para além disso, o módulo é composto por uma estrutura plástica que serve de cobertura inferior e outro que serve de cobertura superior que, uma vez colocados, apenas sofrem posteriormente a colocação de uma etiqueta com um código QRC com informações de rastreabilidade e dados exigidos pelo cliente. Na Figura 17, é possível ver um exemplo desse produto.

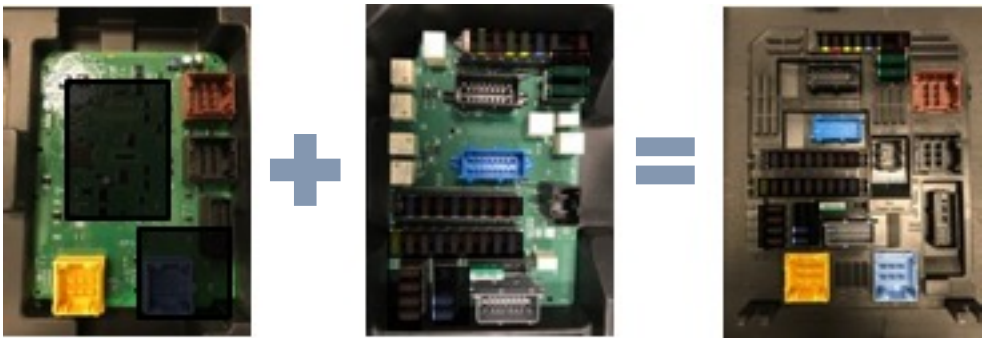


Figura 17 - Placa eletrónica, placa power e, módulo final, respetivamente da esquerda para a direita.

O produto final possuía ainda cinco versões diferentes em produção no período de tempo da realização desta dissertação. A partir da Tabela 2 é possível observar as quantidades planeadas de produção mensal para cada versão às quais estão associadas as respetivas percentagens. Estes dados assumem importância, uma vez que a sua diferente configuração de quantidade de produção (em percentagem)

constitui aquilo a que na empresa se designa por *mix ratio* de versões. Prevê-se que este *mix* se mantenha constante ao longo do ano, salvo aquando de algumas correções e ajustes como resposta à variação da procura do cliente ou questões de planeamento da produção.

Tabela 2 - Quantidade mensal planeada para os diferentes modelos.

Modelo	Quantidade Mensal	% Quantidade	% Acumulada
EL3 6.17	75180	48%	48%
EI4 6.17	41136	26%	74%
EL3 5.7	23736	15%	89%
EL5 6.17	10884	7%	96%
EL5 5.7	6448	4%	100%
Total	157384		

Na Figura 18, apresenta-se o gráfico de *Pareto* respetivo à tabela anterior. A partir do gráfico é possível observar que quase metade da produção do produto "A" diz respeito ao modelo EL3 6.17, com 48% da produção total mensal, correspondendo a 20% dos artigos produzidos. A versão menos produzida é a EL5 5.7 com apenas 4% do volume total.

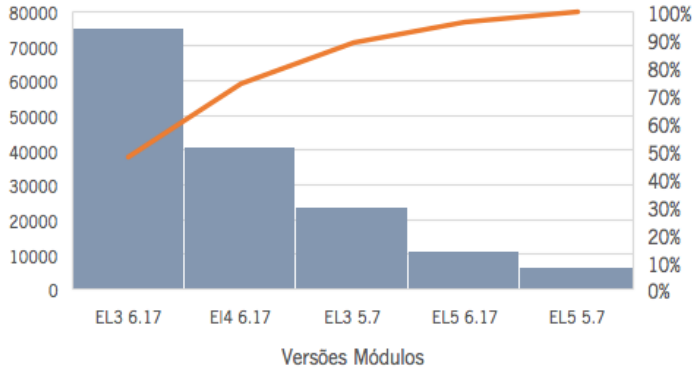


Figura 18 - Gráfico de Pareto para as diferentes versões do módulo final.

4.1.2 Lista de materiais

No âmbito dos materiais que compõe as diferentes placas, apenas se vão focar naqueles que, efetivamente, são colocados no quadro da linha produtiva do produto "A" situada no edifício 2 do complexo produtivo. É neste edifício que se dá a montagem efetiva do produto final. Apenas a placa *power* é que sofre o processo de CBA (processo esse que também é feito no edifício 1) neste edifício, sendo que a montagem de componentes da placa eletrónica é feita no Edifício 1. É aí que a placa eletrónica sofre as transforações desde o *PCB* virgem até à placa completa. Por este motivo, a lista de materiais da placa pletrónica é apenas reduzida à aplicação de *Coating* (Tabela 4), enquanto que na

placa *power* são inseridos 22 tipos diferentes de componentes, num total de 66 elementos, conforme é possível observar na Tabela 3.

Tabela 3 - Lista de Materiais placa power.

Tipo Placa	Componentes	Módulo				
		EL3 5.7	EL3 6.17	EL4 6.17	EL5 5.7	EL5 6.17
Placa Power	Díodos	8	8	8	8	8
	Fuse Shunt Block	1	1	1	1	1
	Relay EX1	2	2	2	2	2
	Blue Connector	1	1	1	1	1
	Grey Connector	1	1	1	1	1
	Black Connector	1	1	1	1	1
	Relay EM1-2U1S	3	3	3	3	3
	Fuse 2ATO	1	1	1	1	1
	Fuse 4Mini	2	2	2	2	2
	Fuse 9Mini	3	3	3	3	3
	Relay EX2	4	4	4	4	4
	Header-2Cond	1	1	1	1	1
	Conector Cust 4 pinos	1	1	1	1	1
	Conector COND 26 Pinos	3	3	3	3	3
	Brown Fuses	15	15	15	15	15
	Red Fuses	3	3	3	3	3
	Blue Fuses	3	3	3	3	3
	Green Fuses	2	2	2	2	2
	Purple Fuses	5	5	5	5	5
	Yellow Fuses	4	4	4	4	4
	Dark Brown Fuses	1	1	1	1	1
	Shunt	1	1	1	1	1

A Tabela 4 apresenta a lista de materiais da respetiva placa eletrónica.

Tabela 4 - Lista de Materiais da placa eletrónica.

Tipo Placa	Componentes	Módulo				
		EL3 5.7	EL3 6.17	EL4 6.17	EL5 5.7	EL5 6.17
Placa Eletrónica	Coating	0,00029	0,00029	0,00029	0,00029	0,00029

Apesar de serem produzidas cinco versões diferentes de módulos, em termos de componentes afetos à zona de produção do produto no edifício 2 não há qualquer alteração na lista de materiais para as duas placas. Ambas as placas contêm o mesmo número e tipo de componentes para as cinco variantes do módulo. A distinção apenas se efetua aquando da sua produção no edifício 1 e na instalação do *software* no edifício 2. Neste caso, existe um *software* distinto para cada tipo de módulo final, conforme é possível observar na Tabela 5.

Tabela 5 - Lista de Materiais do módulo final.

Tipo Placa	Componentes	Módulo				
		EL3 5.7	EL3 6.17	EL4 6.17	EL5 5.7	EL5 6.17
Módulo Final	Cover Inferior	1	1	1	1	1
	Cover Superior	1	1	1	1	1
	Software A	1	-	-	-	-
	Software B	-	1	-	-	-
	Software C	-	-	1	-	-
	Software D	-	-	-	1	-
	Software E	-	-	-	-	1
	Etiqueta	1	1	1	1	1

4.1.3 *Layout* e fluxo de produção

Nesta secção são abordados os diferentes postos de trabalho a que correspondem os vários processos pelos quais as duas placas e módulos finais eram sujeitos. Pretendeu-se, assim, percorrer o fluxo produtivo, descrevendo sequencialmente os processos e postos de trabalho para as duas placas, culminando nos processos comuns associados ao módulo final, completando com a respetiva gama operatória.

A partir da Figura 19 é possível perceber, de uma forma geral, o percurso das placas e módulos finais ao longo do processo produtivo no layout do edifício 2. A Figura 19 representa o *layout* inicial do processo produtivo do produto "A".

Figura 19 - Fluxo produtivo de placas.

A vermelho está representado o percurso efetuado pela placa eletrónica, em paralelo com o percurso assinalado a azul que diz respeito à placa *power*. Finalmente, a verde está representado o percurso do módulo final. Nesta área de produção laboram 15 operárias, 2 operadores de máquina auxiliares, 1 operador logístico interno, 1 técnico de retrabalho e um chefe de linha por turno, sendo que existem 3 turnos de trabalho: o primeiro turno tem início às 06h, o segundo às 14h30min e o terceiro às 23h. Nas

secções seguintes descrevem-se as 11 atividades realizadas nos postos de trabalho que se encontram esquematicamente representadas no seguinte diagrama de analise de processo (Figura 20).

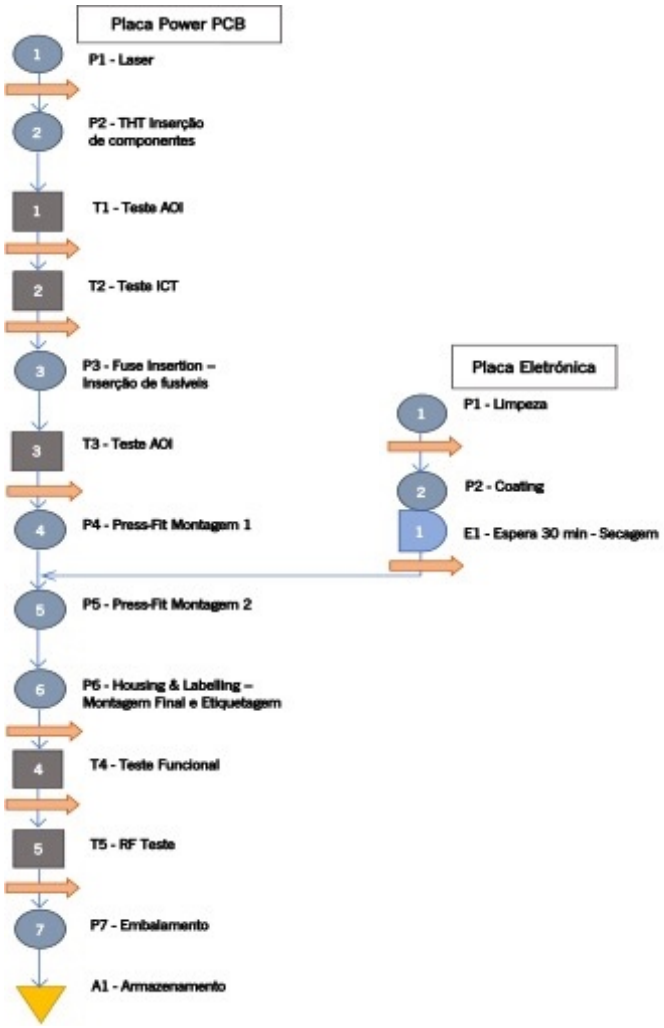


Figura 20 - Diagrama de Processo do Produto "A".

4.1.3.1. Limpeza

Tendo como ponto de partida o processo da placa eletrónica, esta iniciava o seu percurso no posto de limpeza (assinalado a vermelho com o número 1 na Figura 19 e ilustrado na Figura 21 onde a colaboradora colocava seis placas numa grelha no equipamento que, quando acionada, movia-a para uma zona fechada da máquina onde as placas sofriam um processo de aspiração por tornado. Pretendia-se com este passo garantir que nenhuma impureza ficasse alojada nos componentes eletrónicos das placas antes de sofrerem o processo seguinte.

Figura 21 - Posto Limpeza.

Este posto era abastecido pelos colaboradores do departamento de Planeamento, Controlo e Logística (PC&L).

4.1.3.2. Coating

Após a limpeza, a placa eletrónica necessitava de passar por um processo de *Coating*. Este posto de trabalho (Figura 22) está assinalado a vermelho pelo número 2 na Figura 19. Este processo consistia na colocação de uma camada de líquido, mais comummente associado a um "verniz" sem, no entanto, o ser. Tratava-se de um líquido colocado por umas cabeças móveis que se moviam segundo um percurso programado informaticamente, projetando o líquido que, quando solidificado, formava uma camada protetora sobre os componentes, impedindo a sua contaminação, preservando a sua integridade e funcionalidade em ambientes mais adversos, como de elevada humidade, por exemplo.

As placas eram inseridas pela colaboradora numa palete de duas placas no equipamento que, após a sua validação pelo sistema, seguiam para uma parte protegida do equipamento onde tanto na frente da placa como no verso eram aplicados *Coating*. No fim, percorria um trajeto na parte superior do equipamento onde lentamente se promovia a secagem do *Coating*. Isto se o equipamento for automático.

Na Tabela 6 está representada a gama operatória destes postos e na Figura 22 o posto.

Tabela 6 - Gama Operatória de Coating.

Gama Operatória *Coating*	
1	Colocação *Coating* na frente da placa
2	Colocação de *Coating* no verso da placa
3	Inspeção visual à Luz UV
4	Secagem

Na verdade, este posto de trabalho é constituído por dois, cada um com a sua colaboradora. Um posto consiste numa linha, designada por *Coating Line,* cujo processo já foi o descrito e é automático, e outro designado por *Coating Stand Alone* em que a passagem da colocação das placas na palete para a secção de *Coating*, propriamente dita, tem de ser feita pela colaboradora, deslocando-se até ele, bem como a sua retirada para um "extrator" (Figura 22).

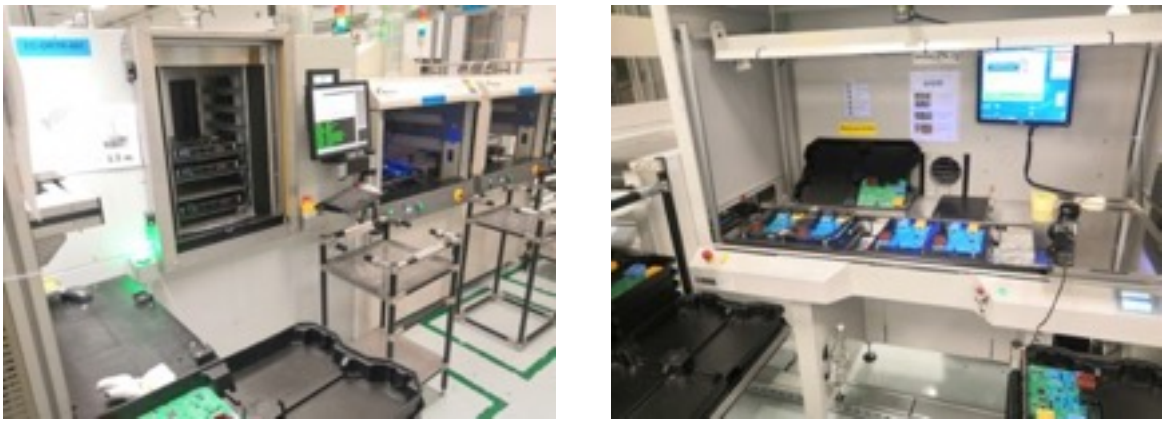


Figura 22 - Coating Stand Alone (esquerda) e Coating Line (direita)

Apesar de em ambos os postos se promover um período de "secagem" ou "extração" dos gases do *Coating* nas placas, este apenas se destinava a evitar a libertação de cheiros fortes provenientes do liquido aplicado. Findo esta etapa as colaboradoras retiravam as placas da palete, inspecionavam à luz UV de forma a verificarem que o *Coating* foi devidamente colocado e, de seguida, colocavam-nas nos tabuleiros e carrinhos para seguirem para uma câmara. Isto porque após a primeira fase de extração do cheiro das placas, estas necessitavam de passar por um período de secagem ou "cura" numa câmara (ponto 3, vermelho, na Figura 19 acima) durante 30 minutos, de maneira a promover a solidificação do *Coating* e a redução do cheiro antes de poder ser utilizada nos processos seguintes.

4.1.3.3. Laser

O Posto de Laser (Figura 23), representado no diagrama de análise de processo da Figura 19 pelo ponto 1 a azul, corresponde ao primeiro processo da placa *Power.* As placas em *PCB* provinham de um fornecedor externo com os circuitos já integrados, mas sem qualquer código que permitisse a rastreabilidade das placas nos sistemas internos da Aptiv. Por este motivo, neste posto, realizava-se a impressão a laser de um código QRC. As placas vinham embaladas do fornecedor em sacos plásticos de 30 placas cada, sendo colocados seis sacos de uma vez na máquina, ou seja, um total de 120 placas impressas. Esta máquina não tinha nenhuma colaboradora dedicada, sendo a colaboradora do posto da Limpeza que procedia à sua alimentação. Findo o processo de Laser as placas eram colocadas em tabuleiros até perfazerem quatro pilhas de placas a 1 cm do fim do tabuleiro.

Figura 23 - Posto Laser.

4.1.3.4. THT

Após o Laser as placas eram transportadas em tabuleiros para o posto de THT (Figura 24) representado a azul pelo ponto 2 do diagrama de análise de processo da Figura 19. Aqui as placas eram colocadas em paletes de duas placas onde seguiam em linha pelos vários equipamentos que iriam colocar os diversos componentes até chegarem a um forno onde eram soldados. Após esta etapa a base era escovada de modo a retirar excessos e detritos provocados pela soldadura, terminando com um teste ótico como garantia de qualidade. No final, eram retiradas das paletes e colocadas em tabuleiros de seis divisões para seguirem para o posto seguinte. Na Tabela 7 está presente a gama operatória deste posto.

Figura 24 - Posto THT.

Tabela 7 - Gama Operatória THT.

Gama Operatória THT	
1	Inserção de Fusíveis
2	Inserção de Díodos
3	Inserção de *Shunt*
4	Inserção de Conectores
5	Inserção de *Headers*
6	Soldadura
7	Teste AOI

4.1.3.5. ICT

Após as placas *power* passarem pelo THT seguiam depois para o ICT (Figura 25) que era um posto de teste dos circuitos e dos componentes inseridos no posto anterior. Consistia em duas estruturas semelhantes a uma "torradeira" na qual uma placa era colocada em cada base da estrutura e depois a colaboradora fechava iniciando o processo de teste. Este posto encontrava-se identificado com o ponto 3, azul no diagrama de análise de processo representado na Figura 19 acima.

Figura 25 - Posto ICT.

4.1.3.6. Fuse Insertion

No *Fuse Insertion* (Figura 26) representado com o número 4 a azul no diagrama de análise de processo da Figura 19, as placas *power* eram colocadas pela colaboradora, novamente, em paletes de duas placas onde seguiam para serem inseridos os fusíveis necessários. Após inseridos, ainda dentro da máquina era feito um teste ótico para se assegurar da correta posição dos fusíveis inseridos. De seguida, eram novamente colocados em tabuleiros de seis unidades para seguirem para o próximo processo. Na Tabela 8 é possível observar a sua gama operatória.

Figura 26 - Posto Fuse Intertion

Tabela 8 - Gama operatória Fuse Insertion.

Gama Operatória *Fuse Insertion*	
1	Inserção de Fusíveis
2	Teste AOI

4.1.3.7. Press-Fit

É no *Press-Fit* (Figura 27), representado pelas cores azul e vermelho, numerados com 5 e 4, respetivamente, no diagrama de análise de processo da Figura 19, que se dava a junção das duas placas. Era neste posto que confluíam os fluxos das duas placas. Primeiramente, eram colocados conectores nas placas *Power* no primeiro *Press-Fit*, isto porque este posto de trabalho era constituído por três pares de *Press-Fits*, sendo o primeiro de cada par responsável por esta operação. O segundo *Press-fit* de cada par era o responsável por concretizar o "casamento" das placas, constituindo o conjunto final. Este

conjunto era depois transportado por um *conveyor* (tapete rolante) até ao próximo posto de trabalho. Na Tabela 9 encontra-se a gama operatória deste posto.

Figura 27 - Posto Press-Fit.

Tabela 9 - Gama Operatória Press-Fit.

Gama Operatória Press-Fit	
1	Inserção de Conectores
2	Junção Placas

4.1.3.8. Housing & Labelling

O posto *Housing & Labelling* (Figura 28) representado pela cor verde e com o número 1 no diagrama de análise de processo da Figura 19 era responsável por colocar os *Covers* (tampas) no conjunto das placas, constituindo o módulo final. Para além disso, era neste posto que era colocada a etiqueta identificativa do módulo. O posto era composto por dois postos de trabalho idênticos, trabalhando simultaneamente ou apenas um, conforme as quantidades a produzir. Na Tabela 10 é possível observar a gama operatória.

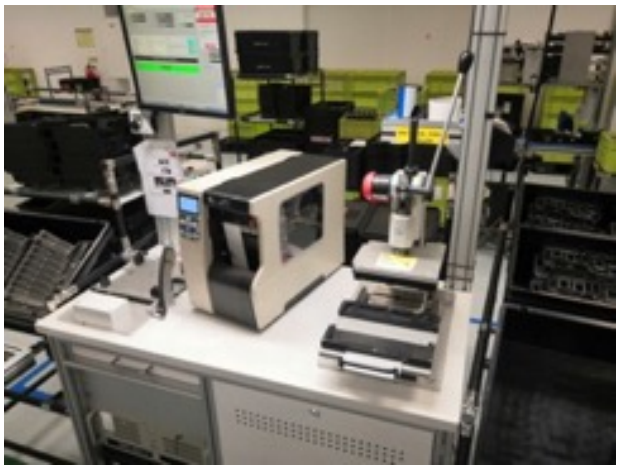


Figura 28 - Posto H&L.

Tabela 10 - Gama Operatória H&L.

Gama Operatória H&L	
1	Colocação *Cover* Inferior
2	Colocação *Cover* Superior

4.1.3.9. Functional Test

No *Functional Test* (Figura 29), representado pelo número 2 a verde no diagrama e análise de processo da Figura 19, procedia-se a testes funcionais do módulo, agora com as duas placas "casadas". Tratava-se de um teste composto por várias iterações de duração também ela variada, mas que permitiam

perceber se após a junção das placas o módulo estava preparado para ser programado e instalado o *software* no próximo posto. Era composto por sete equipamentos de teste que podiam trabalhar simultaneamente. A única gama operatória era mesmo a execução do teste pelo equipamento. Neste posto de trabalho, operavam duas colaboradoras sendo uma responsável por três equipamentos e outra por quatro.

Figura 29 - Posto FT.

4.1.3.10. RF Test

O posto RF teste está assinalado no diagrama de análise de processo da Figura 19 com o número 3 verde, e era onde se encontrava o posto das programações (Figura 30), ou seja, das instalações do *software* nos respetivos módulos. Apesar de a principal função ser a programação do *software*, também era realizado um teste como forma de garantir o funcionamento do módulo com o *software* instalado. Era constituído por quatro equipamentos iguais onde se realizavam duas operações (Tabela 11).

Figura 30 - Posto RF Test.

Tabela 11 - Gama Operatória RF Test.

Gama operatória RF	
1	Programação
2	Teste

4.1.3.11. Embalamento

Finalmente, o último posto representado pelo número 4 a verde na Figura 19, é o do embalamento (Figura 31) onde se procedia a uma inspeção final visual e era embalado nas embalagens fornecidas

pelo cliente. À semelhança do posto anterior também a gama operatória era composta por duas operações (Tabela 12).

Figura 31 - Posto Embalamento.

Tabela 12 - Gama Operatória Embalamento.

Gama Operatória Embalamento	
1	Inspeção Visual
2	Embalamento

4.1.4 Fluxo de abastecimento

O fluxo de abastecimento da zona de produção do Produto "A", tinha duas vertentes consoante o abastecimento fosse interno ou externo. Entende-se por abastecimento externo aquele que é responsável por abastecer os postos com matéria prima. Este abastecimento era da responsabilidade do departamento PC&L, já mencionado em secções anteriores. O abastecimento interno diz respeito ao abastecimento dos postos com o produto semiacabado. Este abastecimento era da responsabilidade do departamento da produção, onde o departamento de engenharia industrial também podia colaborar na sua definição. Na Figura 32 encontram-se assinaladas as rotas logísticas externa (a) e interna (b).

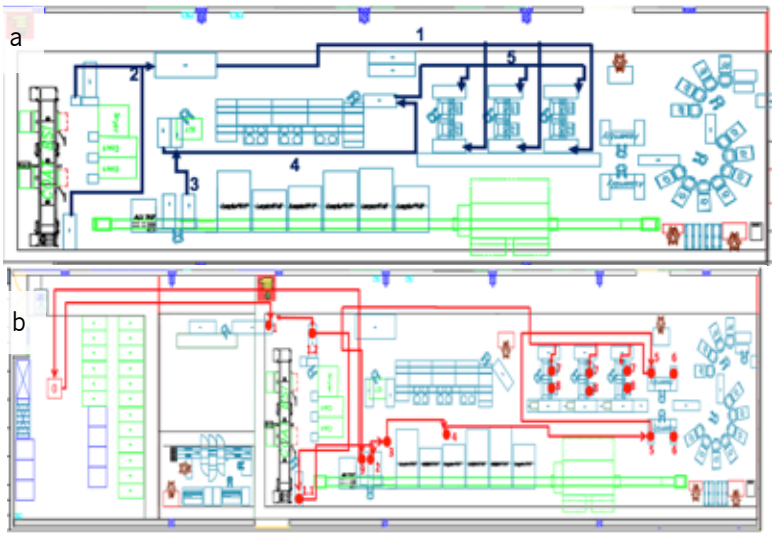


Figura 32 - a) Rota Logística Externa, b) Rota Logística Interna.

Relativamente ao abastecimento externo à zona de produção, esta encontrava-se com um colaborador afetado para proceder à respetiva rota de abastecimento. Este retirava, de acordo com o plano diário de

produção as quantidades determinadas de material do supermercado interno e abastecia os postos substituindo caixas com os materiais necessários de acordo com uma rota por eles delineada.

O mesmo acontecia com o abastecimento interno que era realizado por um operador que assumia a função de abastecimento dos postos transportando os *blisters* (tabuleiros) com as placas entre os postos. Para além disso, contava ainda com dois operadores de máquina que, para além de acompanharem o funcionamento dos equipamentos, nomeadamente do THT e do *Fuse Insertion*, eram também responsáveis por abastecer diretamente estas máquinas com os componentes deixados junto aos equipamentos pelo operador logístico externo.

4.2 Análise crítica e identificação de problemas

Uma vez descritos os processos pelos quais passavam as duas placas e o conjunto final estiveram reunidas as condições para se proceder ao diagnóstico da situação produtiva da linha do produto "A". Assim, observaram-se os três fluxos de produção a que correspondiam os dois tipos de placa e o módulo final, a organização geral da área, os eventuais defeitos que pudessem ocorrer na produção e o seu balanceamento. Ainda se fez a análise de capacidade, assim como se procurou por eventuais necessidades práticas do dia-a-dia dos colaboradores que pudessem ser colmatadas. Para esta análise foram usadas as ferramentas de estudo dos tempos, diagrama de *spaghetti*, auditoria 5S bem como observações e registos no campo e pesquisa interna.

4.2.1 Análise de capacidades e estudo dos tempos do processo

Esta secção apresenta a análise realizada à capacidade do processo e as suas necessidades através do estudo dos tempos. Deste modo, determinou-se a procura semanal que se situava nos 30000 módulos por semana, o número de turnos a operar que eram três e o seu tempo útil de trabalho que eram 457 min por turno que inclui já as pausas. Para além disso, a Aptiv calculava o indicador de eficiência, chamado *Overall Eficiency* (OE) (descrito na secção 2.4) que media em percentagem a razão entre tempo verdadeiramente produtivo com o disponível e que era o esperado, conforme referido na secção 2.4. Neste caso, a Aptiv considerava um OE de 95% para efeitos de cálculo de TT.

Atendendo à fórmula do TT referida na secção 2.4, este foi calculado para a procura diária de 6000 módulos. A Tabela 13 apresenta esses cálculos, sendo o valor do TT calculado de 13 segundos.

Tabela 13 - Cálculo do takt time

Cálculo TT	
Procura Diária (módulos)	6000
Tempo Disponível por Turno (min)	457
Número de Turnos	3
OE	95%
Tempo Disponível (seg)	78147
***Takt-Time* (seg)**	**13,0**

De seguida, cronometrou-se o tempo de ciclo de cada posto de trabalho para dez ciclos para efeitos de estudo, amostra habitualmente usada na empresa para o efeito. Na Figura 33 encontram-se os tempos dos postos dedicados à placa eletrónica.

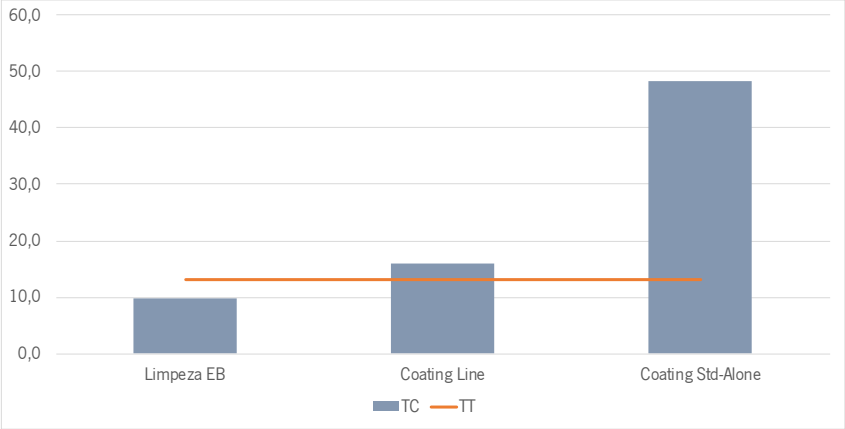


Figura 33 - Tempos de Ciclo dos postos de trabalho dedicados à placa eletrónica (segundos).

Na Figura 33 o tempo de ciclo da Limpeza foi obtido através da divisão do tempo de ciclo do lote pela sua capacidade de seis placas, situando-se nos 9,8 segundos. No caso do *Coating Stand Alone* o ciclo medido corresponde ao *coating* de duas placas (48,4 segundos) que correspondia ao tamanho da palete, pelo que o seu tempo de ciclo foi dividido por duas placas e o mesmo aconteceu para o *Coating Line* (16 segundos). Ainda relativamente ao *Coating,* como o tempo de ciclo deve ser visto por posto de trabalho, no seu conjunto, foram necessários cálculos adicionais para se determinar o TC agregado dos dois postos de trabalho. Para isso, determinou-se a taxa de produção de cada um dos postos que se somaram, para depois inverter, uma vez que o TC é o inverso da Taxa de Produção (Tabela 14). Neste caso o TC do *Coating* situava-se nos 12 segundos.

Tabela 14 - TC Coating.

Tempo de Ciclo *Coating*		
	Coating Line	*Coating SA*
Taxa de Produção	0,06	0,02
Taxa de Produção Agregada	0,08	
TC Agregado *Coating*	12,02	

Seguindo para os postos relativos à placa *power* obtiveram-se os seguintes resultados (Figura 34).

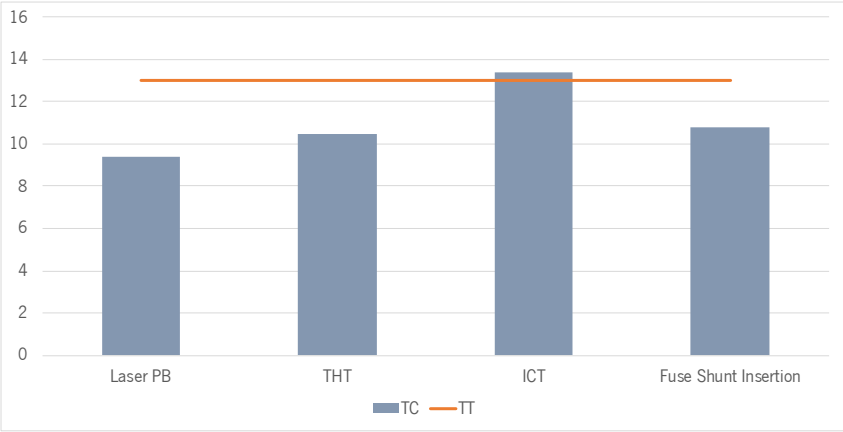


Figura 34 - Tempos de Ciclo dos postos dedicados à placa Power (segundos).

A partir destes valores (Figura 34) pode-se observar que há um posto que se encontra a ultrapassar o TT, o ICT com 13,4 segundos, o que configurava um problema, dado que mesmo que não fosse o posto com maior TC do sistema, este já não era capaz de corresponder ao ritmo produtivo requerido pelo cliente que é, no máximo, produzir uma placa de 13 em 13 segundos. De ressalvar que tanto no *Coating* como na *Fuse Insertion* (10,8 segundos), o tempo de ciclo médio foi dividido por duas placas, que correspondia ao tamanho da palete usada. Em relação ao posto Laser o seu tempo de ciclo era de 9,4 segundos por placa, sendo o do THT de 10,5 segundos.

Já para os postos associados ao conjunto de placas, módulo final, os resultados constam da Figura 35.

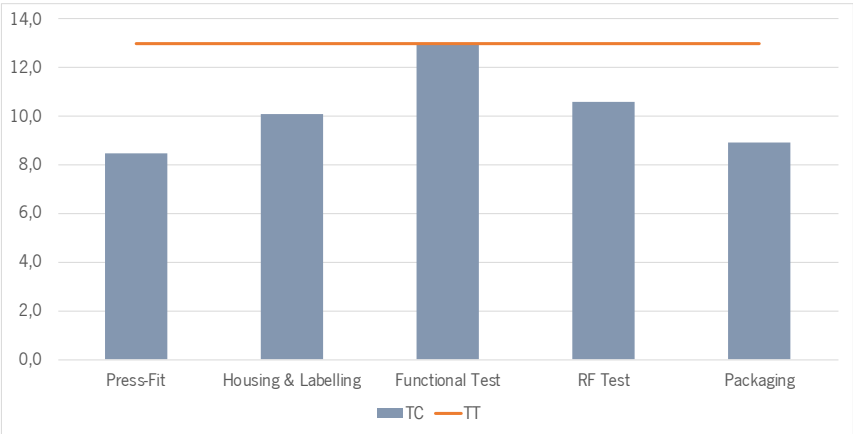


Figura 35 - Tempo de Ciclo dedicados aos módulos finais (segundos).

A partir da Figura 35 constata-se que o tempo de ciclo medido para o *Press-Fit* era de 8,5 segundos, o *Housing & Labelling* era de 10,1 segundos, o *Functional Test* de 13 segundos sendo que o conjunto dos RFs possuíam um ciclo de 10,6 segundos por placa e o posto de *Packing* de 8,9 segundos.

O *Funcional Test*, à semelhança do posto de trabalho do *Coating*, também possuía a particularidade de que a determinação deste tempo de ciclo assumia uma complexidade diferente. Como o tempo de teste deste equipamento era variável conforme o modelo que era testado e dependia ainda do número de iterações que o equipamento julga necessário para validar o seu teste, devia-se ter em conta esta variação. Variação essa que o valor medido e que consta do gráfico (Figura 35) não reflete, pois corresponde ao tempo de ciclo global medido para o modelo do módulo EL3 6.17, na altura em produção.

Para efeitos de cálculo, recorreu-se, então, aos dados do sistema informático da fábrica onde, para cada modelo, se determinou o tempo de processamento médio. Adicionando a esse tempo o tempo de *handling* médio, conseguido a partir da subtração do tempo de ciclo global observado (13 segundos) multiplicado pelo número de *Functional Tests* (7) e o tempo de processamento do modelo *high runner* (EL3 6.17), obteve-se o tempo de ciclo médio para cada placa de diferente versão por equipamento. Conjugando esses valores com a ponderação determinada no *mix ratio* do mês anterior obteve-se o tempo de ciclo ponderado para o posto de trabalho. Neste caso, acompanhando a Tabela 15, obteve-se 13,04 segundos. Valor esse a ser considerado. Este era mais um valor que compromete a resposta da fábrica para com o cliente.

Tabela 15 - Tempo de Ciclo FT.

Tempo de Ciclo FT				
Modelo	Test	Handling	Total CT	Mix BRG
EL3 5.7	81,8	8	89,8	14%
EL3 6.17	83,1	8	91,1	50%
EL4 6.17	85,7	8	93,7	26%
EL5 5.7	88,4	8	96,4	4%
EL5 6.17	90,8	8	98,8	5%
TC (Seg)			**91,28**	**13,04**

A partir destes valores foi possível construir um gráfico de modo a ser possível ter uma visão geral sobre o posicionamento dos vários postos de trabalho no âmbito do seu balanceamento (Figura 36).

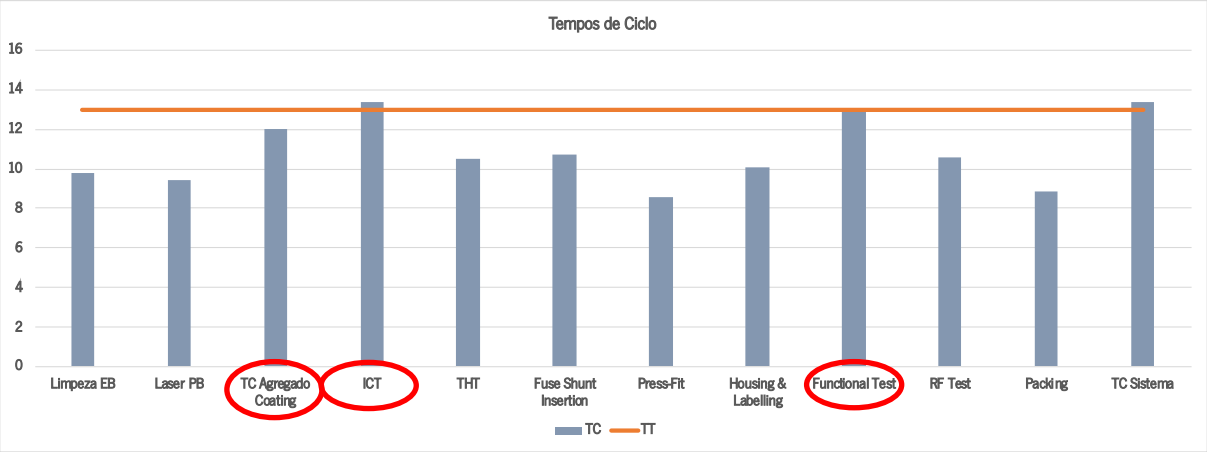


Figura 36 - Tempos de Ciclo do Sistema das atividades do produto A

Através dele é possível constatar a posição frágil e desbalanceada em que o sistema se encontrava para ir de encontro com a procura do cliente. Por este motivo, a ação do investigador focou-se nos postos de trabalho ICT, FT e *Coating*, visto serem os postos com os TC mais elevados.

Para além disso, procedeu-se ao cálculo de alguns indicadores de desempenho, como o WIP, o Tempo de Atravessamento e o Rácio de Valor Acrescentado (RVA). Os resultados encontram-se na Tabela 16. No final encontra-se também um diagrama de processo com os tempos obtidos (
Figura 37).

Tabela 16 - Indicadores de Desempenho.

Indicadores Desempenho	
WIP	825
Tempo Atravessamento (min)	179,191
RVA	1%
Índice de Planura	10,315

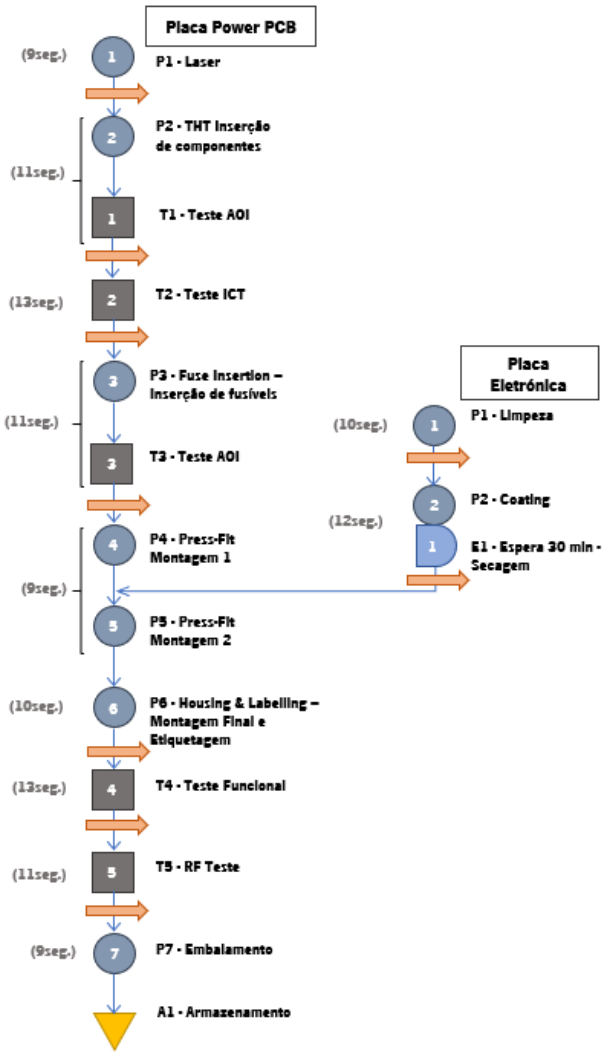


Figura 37 - Diagrama de Processo do Produto A com os Tempos de Ciclo.

4.2.2 Atividades que não acrescentavam valor no Coating Line

No seguimento da secção 4.2.1 em que o *Coating* foi identificado como sendo o terceiro posto com o tempo de ciclo mais elevado, foi então elaborada uma análise mais profunda do *Coating line*, por ser o equipamento de *Coating* mais recente, e por isso, com maior potencial de melhoria. Para isso, analisaram-se as atividades que constavam da instrução de trabalho a fim de as classificar conforme acrescentavam ou não acrescentavam valor. Na Tabela 17 encontra-se a análise onde é possível constatar que apenas uma atividade foi considerada de valor acrescentado para o produto, sendo as restantes, desperdício.

Tabela 17 - Análise de operações que constam da instrução de trabalho no posto Coating Line.

Operações *Coating Line*		
	AV	NAV
Retirar calcador da palete		
Pousar calcador na base		
Retirar placa do lado direito, inspeciona sob a luz UV e coloca no *blister*		
Retirar placa do lado esquerdo, inspeciona sob a luz UV e coloca no *blister*		
Pegar placa e coloca do lado direito da palete		
Pegar placa e coloca do lado esquerdo da palete		
Colocar calcador na palete		
Pressionar botão vermelho para ler as placas		
Pressionar botão verde para avançar palete		
Operar Máquina		
Quando tiver 2 *blisters* completos na base, estes devem ser colocados no carrinho para exaustão		

Por esse motivo, procurou-se observar o posto de trabalho com o objetivo de avaliar a sequência de operações e determinar a possibilidade de eliminar algumas destas atividades consideradas desperdício. Assim, concluiu-se que a atividade de retirar o calcador da palete e pousá-lo numa base para, de seguida, voltar a colocar na palete, já com as novas placas prontas para seguirem de volta para a máquina, poderiam ser eliminadas.

4.2.3 Falhas de abastecimento interno

Como uma das componentes de análise foi a logística envolvida na zona de produção do produto "A", procedeu-se à sua observação no chão de fábrica anotando-se a frequência de falhas no abastecimento dos postos de trabalho com produto semiacabado. Desse modo, ao longo de uma semana foi observado durante uma hora, em horários diferentes se se verificavam atrasos no abastecimento. Para isso, contabilizaram-se todas as situações em que o posto ficou sem abastecimento (frequência) e teve de aguardar para ser abastecido, ou pelo operador logístico responsável ou, que pela iniciativa própria da colaboradora esta se deslocava à fonte para se abastecer. Os resultados encontram-se na Tabela 18.

Tabela 18 - Registo de falhas de abastecimento.

Posto de Trabalho	Dia (Dezembro 2019) - 1h de observação					Total
	9	10	11	12	13	
Coating Line IN	2	1	-	2	1	6
Coating SA IN	2	-	-	2	1	5
ICT IN	-	-	1	-	-	1
Fuse Insertion IN	2	-	2	-	1	5
Press-Fit IN	4	-	1	1	2	8
Total	10	1	4	5	5	25

A partir da Tabela 18 é possível observar que o dia mais crítico foi o dia 9 de dezembro em que se registou um total de 10 falhas de abastecimento, tendo sido nos dias 12 e 13 que se registaram mais casos, com cinco cada, seguido de quatro no dia 11 e apenas um caso no dia 10.

Mais tarde veio-se a perceber a razão pela qual o dia 9 registou mais casos, visto que o operador logístico se encontrava a substituir um colega que tinha faltado e encontrava-se, por isso, a fazer dois trabalhos diferentes. Em todo o caso, nos restantes dias registou-se uma média de 3,75 falhas por dia e por hora. Isto significava que em média, num turno de oito horas, podiam ocorrer cerca de 30 falhas de abastecimento. Ainda que em muitos casos a própria colaboradora tomava a iniciativa de ir ao posto de trabalho anterior e abastecer o seu próprio posto ou que passados poucos segundos o operador acabe por abastecer, este era um indicativo de que as rotas logísticas e as quantidades de entrega necessitavam de ser revistas no sentido de as melhorar.

Procedeu-se também ao acompanhamento de uma hora do operador logístico para perceber quais os seus passos e se se encontrava a cumprir com a rota logística programada. Este acompanhamento resultou na elaboração de um diagrama de *Spaghetti* (Figura 38) que permitiu revelar uma rota que não estava ainda normalizada.

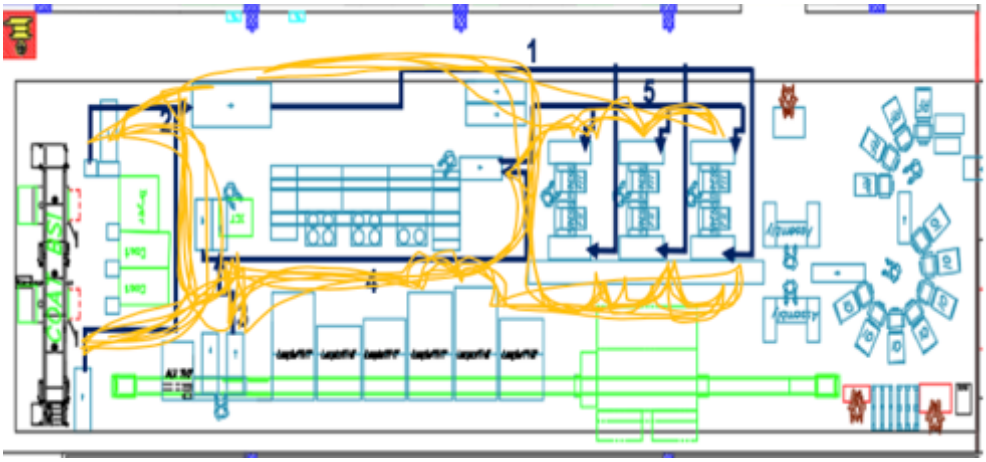


Figura 38 - Diagrama de Spaghetti das deslocações do operador logístico.

No regresso do operador do trajeto 1 em que este abastece os *Press-Fits* com placas eletrónicas, este abastecia as últimas três composições do THT (EC-THT-011, EC-THT-012, EC-THT-013), retirava os tubos vazios de onde vinham os conectores usados e ainda retirava do supermercado local, abastecido pelo operador logístico externo, placas *power* para a THT sempre que fosse necessário.

Uma vez mais, se salientou a importância de se reverem os procedimentos na busca por melhorias e uma nova normalização da rota logística interna.

4.2.4 Instruções de trabalho desatualizadas

Do mesmo modo que se identificou que a rota logística necessitava de ser revista, também as instruções de trabalho (IT) para os diferentes postos necessitavam de serem atualizadas. Estas instruções revelavam-se de uma enorme importância, pois eram um instrumento de normalização do trabalho que contribuíam para a qualidade e estabilidade dos processos, além de que eram um importante auxílio aquando de novos colaboradores que necessitavam de ser formados e de ter uma referência para seguir.

Assim sendo, identificou-se o seguinte:

- Inexistência de Instrução de Trabalho para o ICT;
- Inexistência de Instrução de Trabalho para *Coating* S.A. com um colaborador;
- A necessidade de nova forma de operar na *Coating Line,* visto ter existido uma atualização tecnológica que, entretanto, não se traduziu na instrução de trabalho, nomeadamente o sensor de leitura de placa que passou a ser fixo em altura (Figura 39);

Figura 39 - Novo sensor em altura no Coating Line.

- A necessidade de nova operação devido a qualidade na etiquetagem (H&L). Acontece que havia o risco de a etiqueta não colar efetivamente à primeira (Figura 40), pelo que o departamento da qualidade emanou uma nova diretriz de procedimento que carecia de atualização da instrução de trabalho;

Figura 40 - Etiqueta mal colada.

- A necessidade de nova instrução e trabalho para futura máquina em funcionamento no H&L (Figura 41);

Figura 41 - Máquina Automática da Montagem Final.

- A necessidade de novo procedimento para Embalamento nomeadamente de acrescento de operações que até então eram executadas, mas não estavam registadas por força de requisitos de qualidade. Era o caso da necessidade de inspecionar detritos nos conectores, a integridade do *QR Code*, passar o dedo pela etiqueta antes de introduzir na embalagem e posicioná-la corretamente na embalagem para o cliente.

4.2.5 Necessidade de atualização dos 5S e auditorias

Periodicamente a Aptiv realizava auditorias internas de 5S como forma de assegurar que esta base importante do sistema *Lean* se encontrava implementada. Estas auditorias também eram necessárias porque existiam auditorias externas realizadas por entidades auditoras também elas externas e/ou da parte de clientes que também as realizavam e exigiam como forma de garantia de que os seus requisitos fossem cumpridos.

Nesse sentido, as equipas internas responsáveis pelas operações, juntamente com o departamento de Engenharia Industrial, como forma de manter a disciplina, e, portanto, o último "S" (*Shitsuke*), realizavam auditorias próprias. Juntamente com a equipa realizou-se uma auditoria 5S cujo foco era a correta identificação e sinalização dos equipamentos no chão, o correto posicionamento dos equipamentos e objetos nas marcações e ainda em termos de estruturas de apoio para os objetos pessoais autorizados das colaboradoras na área produtiva. Foram exemplo disso, o saco ESD e a garrafa de água. Existirem suportes para estes objetos era de extrema importância pois em locais impróprios comportam risco para a integridade dos produtos produzidos e dos equipamentos. Assim sendo, foram identificadas as seguintes necessidades que constam, resumidamente, da Tabela 19.

Tabela 19 – Necessidades de ações 5S.

Plano de Ação
Delimitar área *Kanban Flow Board*
Identificar Quadro
Identificar Armário de Apoio
Identificar Carro de Apoio KFB
Delimitar carro de apoio Bancada de Reparação
Delimitar zona de Refugo
Criar zona de arrumação para escada de apoio
Delimitar supermercado local THT
Delimitar arrumação paletes na Zona de embalamento
Colocação de suporte de garrafas na rampa exterior paletização
Colocação de suporte de garrafa no posto de *Fuse Insertion*

A primeira necessidade identificada estava relacionada com uma estrutura, comum a todas as áreas produtivas da fábrica, chamada de *Kanban Flow Board*, que, como o nome indica, são cartões *kanban* com ideias dos colaboradores para melhoria contínua da zona produtiva. Esta área que incluía um quadro de parede, um quadro móvel, um armário e carrinho de apoio, não estavam delimitados e identificados.

Para além disso, a segunda bancada de reparação possuía um carro de apoio cuja posição correta não estava identificada. O mesmo sucedia para a zona de refugo anexa à bancada de reparação, para o supermercado local do THT, onde se encontravam as caixas com os componentes necessários para serem inseridos na máquina e para a zona de palatização do embalamento que não possuía qualquer marcação que indicasse o local apropriado para as paletes e seu conteúdo.

4.2.6 Elevado volume de refugo e aplicação da metodologia DMAIC

Conforme enunciado no início da secção, outro dos pontos analisados prendeu-se com os defeitos no produto produzido. Nesse sentido, analisaram-se os volumes em valor monetário dos defeitos ocorridos na zona produtiva do produto "A" desde novembro até janeiro. Os seus valores encontram-se na Figura 42.

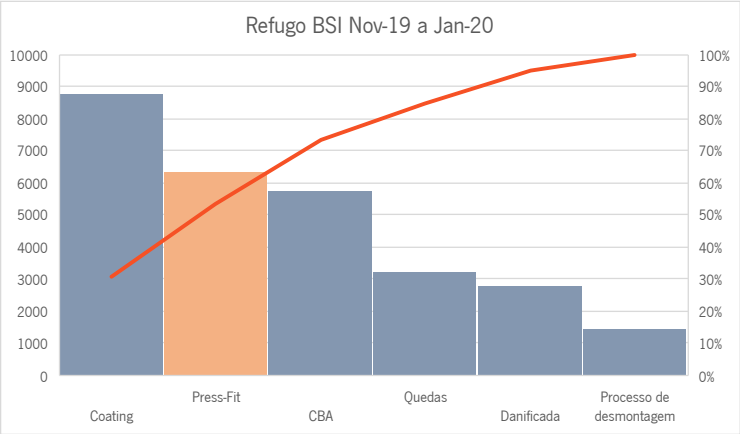


Figura 42 – Percentagem de Refugo em valor monetário de Novembro a Janeiro.

A partir do gráfico (Figura 42) percebe-se que o refugo proveniente do *Coating* representava o maior prejuízo, com quase 9 mil euros de prejuízo representando pouco mais de 30% de todo o refugo, seguido do *Press-Fit* com 23% do prejuízo avaliado em 6364 euros. Uma vez que a questão do refugo no *Coating* se encontrava já em resolução, o autor desta dissertação focou-se em trabalhar na redução do refugo proveniente do *Press-Fit.*

De maneira a perceber-se a evolução do refugo no mesmo período de tempo considerado no gráfico anterior, optou-se por elaborar um gráfico de barras com a respetiva tendência. A Figura 43 mostra que o volume de refugo em termos monetários tinha uma tendência crescente, tendo o último mês de janeiro sido o mês mais crítico com 3009,54 euros de refugo, perspetivando uma crescente evolução caso não se atuasse atempadamente.

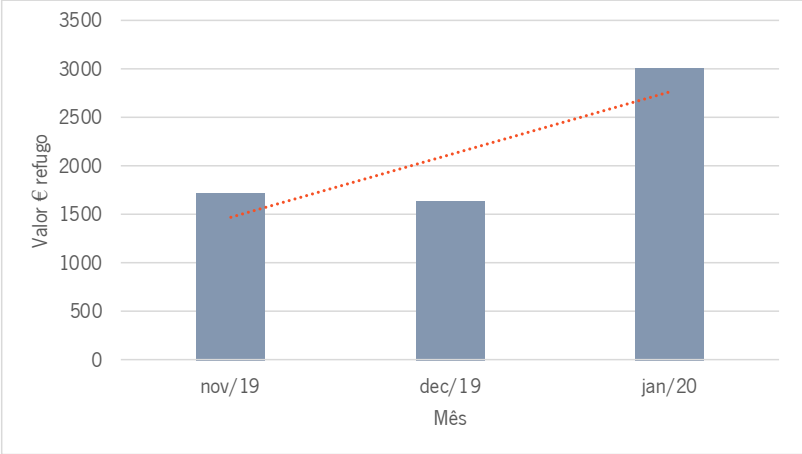


Figura 43 - Evolução mensal (nov2019-jan2020) do refugo em termos monetários.

Este refugo dizia respeito, maioritariamente, a placas riscadas e pinos dobrados, o que não permitia o correto funcionamento do módulo. Na Figura 44 encontra-se um exemplo de placas riscadas e pinos dobrados, assinalados com um círculo vermelho.

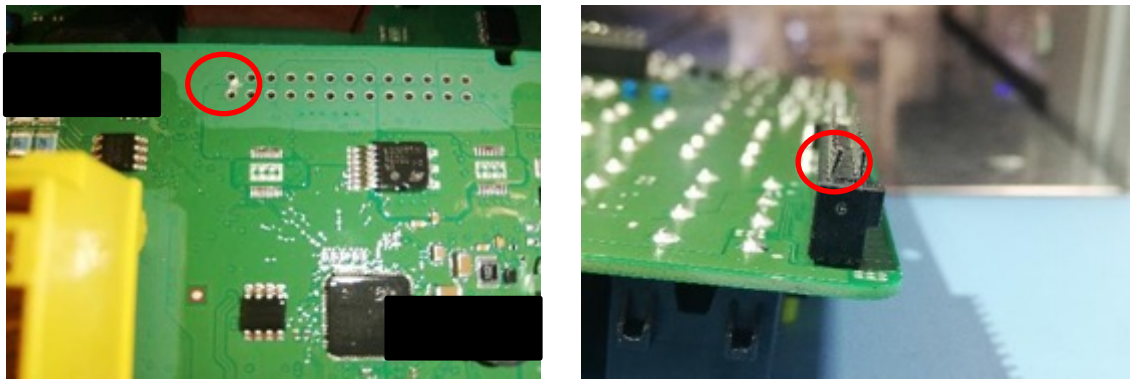


Figura 44 - Defeitos no posto Press-Fit.

No seguimento do refugo identificado, optou-se por utilizar a metodologia DMAIC do *Lean Six Sigma* (secção 2.2.) através de um projeto dedicado como forma de abordar o problema e determinar as causas

raiz. Para esse efeito, a equipa deveria ser diversificada de forma a maximizar a probabilidade de resolução envolvendo mais do que um departamento interessado. Assim, definiu-se que da equipa envolvida fariam parte a engenharia industrial, a qualidade e a produção. A interdisciplinaridade dos membros que constituíam a equipa, conferia um fator dinâmico e rico para a resolução do problema, pois este dizia respeito a questões relacionadas com o processo que envolviam a qualidade do produto. Assim, cada departamento representado salvaguardaria a integridade destas duas vertentes ao contribuírem com visões sobre o processo e formas de garantia da qualidade.

Deste modo, o autor em representação do departamento de engenharia industrial, contribuiria com o conhecimento do processo em causa, garantindo a sua operacionalidade e que as propostas do seu âmbito eram implementadas sem comprometer a cadeia de valor do processo. Da mesma maneira, a colega em representação do departamento de qualidade, contribuiria com perspetivas e ideias que garantissem a conformidade com os requisitos específicos de qualidade e dos clientes, salvaguardando a característica especial em questão (junção das placas *Power* e Eletrónicas), assim como a implementação de medidas do seu âmbito.

Nesta secção apenas são apresentadas as etapas *Define, Measure and Analyse* da metodologia, sendo apresentadas as etapas de *Improve* no capítulo de propostas e *Control*, na de resultados.

4.2.6.1. Define

Na etapa de *Define* começou-se por elaborar o *Project Charter* do projeto, representando na Figura 45, de maneira a clarificar os vários pontos que o constituem.

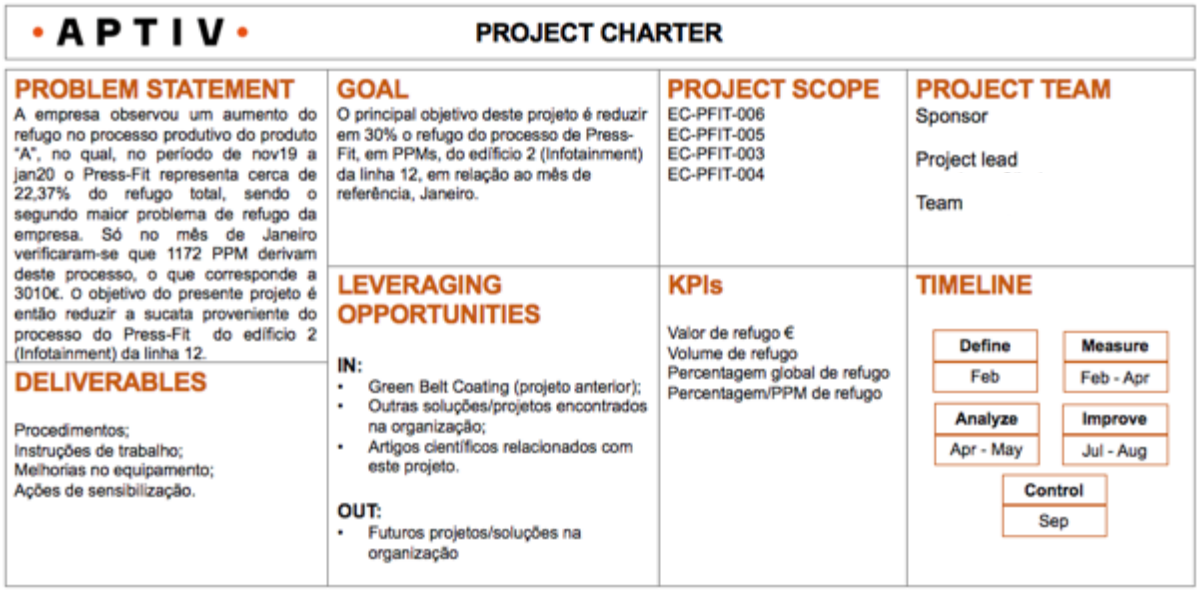


Figura 45 - Project Charter do projeto LSS.

Nesse esquema foi retratado o problema identificado, abordando as questões já identificadas na secção 4.2.6.. O objetivo foi a redução em 30% no volume de refugo no processo de *Press-Fit*. Para isso, o espetro do projeto focou-se nos dois pares de *Press-Fit* identificados na Figura 45, pois tinha-se conhecimento que um dos três pares do *Press-Fit* iria ser retirado.

Oficializou-se ainda a equipa do projeto, patrocinada pelo responsável pelas operações do edifício 2, liderado pelo Engenheiro responsável da produção e composta pelo autor em representação do departamento de engenharia industrial e a sua colega em representação do departamento de qualidade cujos nomes não constam do texto e do *project charter* para efeitos de proteção de dados.

A ideia seria contribuir para o processo com novos procedimentos, dos quais se pudessem destacar implicações nas instruções de trabalho e na melhoria dos equipamentos. Poderiam ser oportunidades de alavancagem os projetos de *Green Belt* no âmbito de outros projetos *Lean Six Sigma* previamente realizados na organização, artigos científicos que estivessem à disposição da equipa na área, bem como o leque de soluções que foram sendo implementadas na fábrica como resultado da experiência da equipa e de todos os que com ela contactam e contribuem.

Era, igualmente, de esperar que as soluções desenhadas no processo atual do momento pudessem contribuir para futuros problemas que pudessem ser identificados na empresa. Como indicadores-chave para o projeto foram, naturalmente, o volume de refugo em quantidade e valor monetário correspondente e a sua eventual tradução percentual e em partes por milhão (ppm). As diferentes fases da metodologia DMAIC foram também definidas ao nível temporal no *project charter*, sendo que se desenrolaram desde fevereiro até ao mês de setembro de 2020.

Nesta fase estabeleceu-se, ainda, um ponto de partida que serviu de referência para comparação no final do projeto. Determinou-se então que o mês de referência seria janeiro por ter sido o mês com maior relevância do ponto de vista do peso monetário de sucata no *Press-Fit*. Nesse mês registaram-se 139 ocorrências num total de 118585 módulos produzidos, o que, aplicando a fórmula abaixo indicada significa 1172 partes por milhão de defeitos:

$$PPM = \frac{Número\ de\ Ocorrências}{Número\ total\ de\ unidades\ produzidas} \times 10^6 = \frac{139}{118585} \times 10^6 = 1172 \text{ PPM}$$

Isto significou que o objetivo de redução de 30% no volume de refugo se traduzia numa descida de 351 ppm, conforme é possível observar na Figura 46, passando de 1172 ppm para um patamar de 821 ppm.

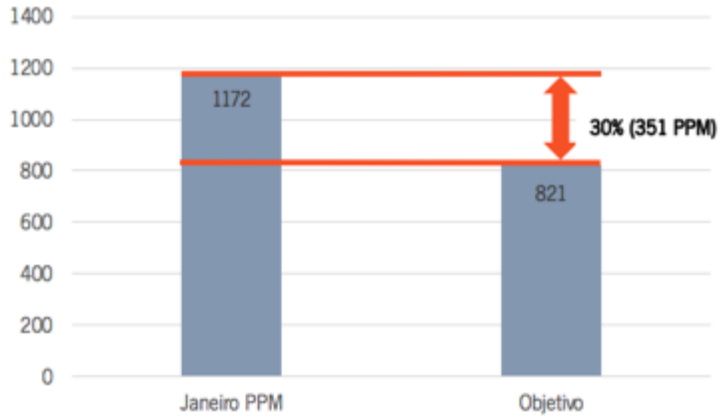


Figura 46 - Intervalo objetivo proposto em ppm.

Para além disso, foi elaborado um SIPOC (seção 2.2.2.) para a equipa se inteirar e alinhar a respeito dos fornecedores do projeto, os seus inputs, os principais processos da produção do produto "A", os seus outputs e clientes. A sua representação pode ser encontrada na Figura 47, abaixo indicada.

Supplier	Input	Process	Output	Customer
PCL	Matéria prima (Placa Eletrónica)	SMT/ICT/MOL	Placa Eletrónica montada	Coating
PCL	Matéria prima (Placa Power)	CBA	Placa Power montada	Inserção de Fusíveis
SMT/ICT/MOL	Placa Eletrónica montada	Montagem Final Coating	Placa Eletrónica montada e com Coating	Press-Fit
CBA	Placa Power montada	Inserção de Fusíveis	Placa Power montada e com fusíveis	Press-Fit
Coating+Inserção de Fusíveis	Placa Power + Placa Eletrónicas	Press-Fit	Módulo montado	Montagem do Housing
Press-Fit	Módulo montado	Montagem do Housing	Módulo montado com housing	Etiquetagem
Montagem do Housing	Módulo montado com housing	Etiquetagem	Módulo terminado	Testes Finais
Etiquetagem	Módulos bons terminados	Testes finais	Módulos bons testados	Embalagem

Figura 47 - SIPOC do processo de produção do produto "A".

4.2.6.2. Measure

O passo seguinte diz respeito à medição do problema (*Measure*), propriamente dito. Significa, por isso, que se recolheram dados e informações sobre o defeito para que pudessem ser analisados e deles serem retiradas conclusões. Assim, ficou definido que para efeitos de recolha de dados a placa *power* seria a placa de referência e que esta seria dividida em zonas que correspondiam aos diferentes ilhós por onde os conectores com pinos eram introduzidos. No caso da placa *power* eram quatro as zonas que, por sua

vez, foram subdivididas em três subzonas com todas as perfurações numeradas, conforme é possível constatar pela Figura 48, com exceção da zona 3.

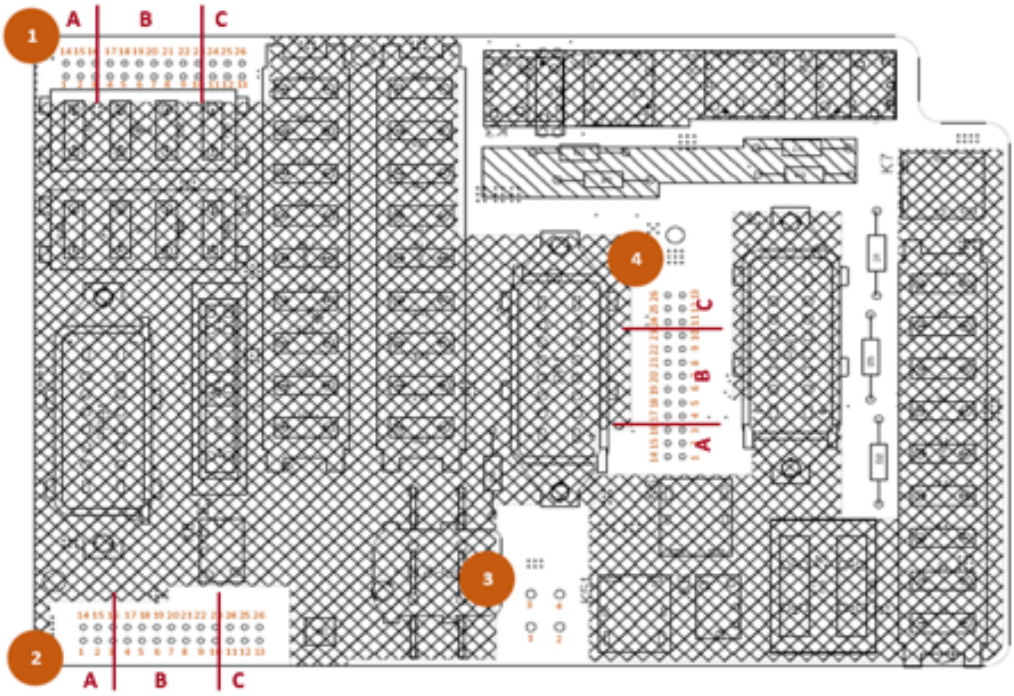


Figura 48 - Subdivisões da placa Power para efeitos de análise.

Desde o dia 2 de fevereiro até 18 de março foram recolhidos dados sobre o refugo que foi ocorrendo nesse período de tempo. Através da observação do padrão de defeitos que se observaram e registaram nas placas e comparando com projetos semelhantes na Aptiv, foi possível distinguir dois tipos de defeitos. O primeiro estava associado a um padrão onde numa ou mais zonas os ilhós da placa eletrónica, onde os pinos eram inseridos, apresentavam marcas uniformes em toda a sua extensão de um desvio dos pinos dos conectores das respetivas perfurações aquando da sua junção, danificando a placa.

O segundo estava associado ao padrão de marcas de desvios em pinos pontuais numa das zonas assinaladas. Assim, estavam definidos os dois tipos de erros para efeito de registo e estudo aprofundado: dano em extensão (tipo A) e dano localizado (tipo B).

Na Figura 49 encontram-se exemplos dos respetivos tipos de defeitos.

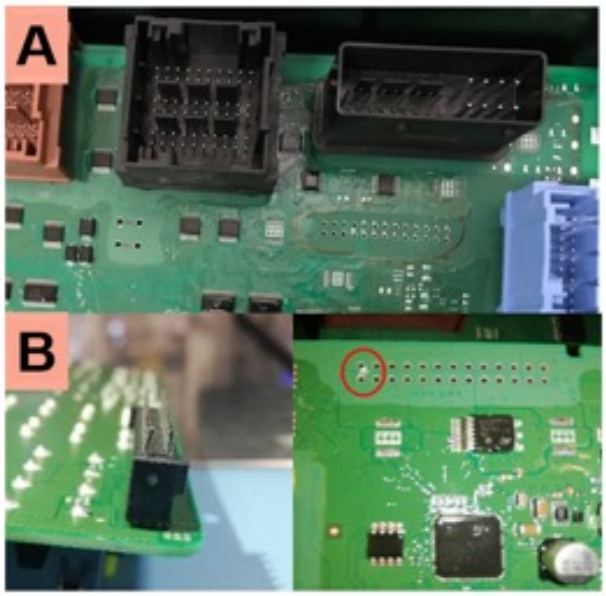


Figura 49 - Exemplo de tipos de defeitos - A - Defeito do tipo A e - B - Defeito do tipo B.

Relativamente à percentagem em que estes dois tipos de erros existiam, em cerca de 80 registos de defeitos obtidos no intervalo de tempo indicado anteriormente, constatou-se que mais de 80% dos defeitos eram do tipo B e quase 18% correspondiam a dano em extensão (tipo A) (Figura 50).

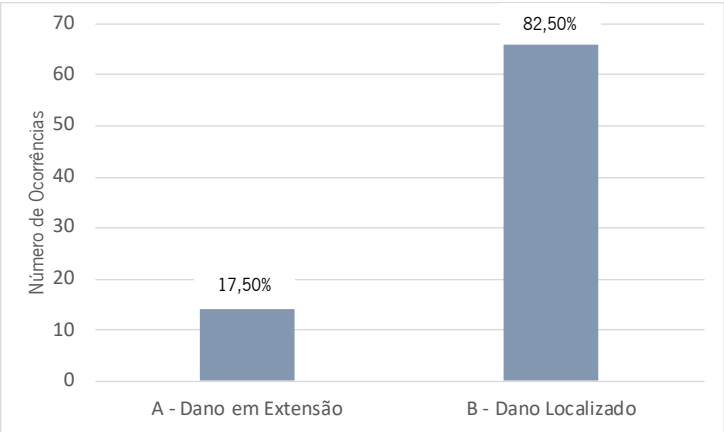


Figura 50 - Volume (unidades) de erros por tipo e sua percentagem.

Desses dados faziam parte, ainda, informações como o número de referência de cada placa, o tipo de dano, a zona do dano, os pinos afetados, ou seja, qual o número das perfurações afetadas, o *Press-Fit* por onde a placa passou, o dia em que ocorreu, a hora e o turno correspondente.

Posto isto, os dois tipos de erros foram analisados, pois nada garantia que, apesar de 80% dos defeitos serem do tipo B, os do tipo A não pudessem, eventualmente, assumir uma percentagem maior no futuro. Para além disso, seria uma análise de onde poderia resultar conhecimento para futuros problemas que pudessem vir a acontecer neste posto de trabalho em específico.

Assim sendo, e iniciando pelo defeito do tipo B, por ser o mais representativo, das 80 ocorrências de refugo contabilizadas procurou-se iniciar esta fase de medição por localizar na placa os pinos identificados como danificados através de um diagrama de concentração com gradação de cor em que a zona mais escura da Figura 51 representa uma maior concentração que a mais clara.

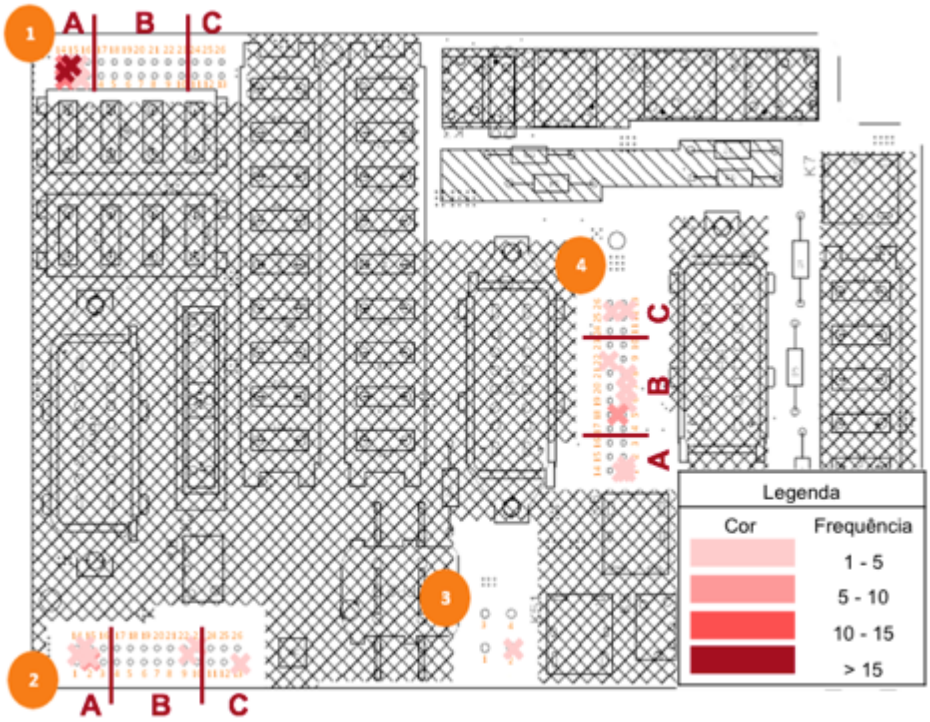


Figura 51 - Diagrama de concentração dos pinos afetados.

Visualmente é possível concluir que a zona mais afetada é a zona 1 da placa. De forma a aprofundar mais a análise e tratar quantitativamente o número de ocorrências ao longo da placa, foi elaborado um gráfico de *Pareto* (Figura 52) que demonstrava que 78% dos defeitos ocorriam em 22% das zonas, neste caso na zona 1A e 2A, comprovada também anteriormente pelo diagrama de concentração.

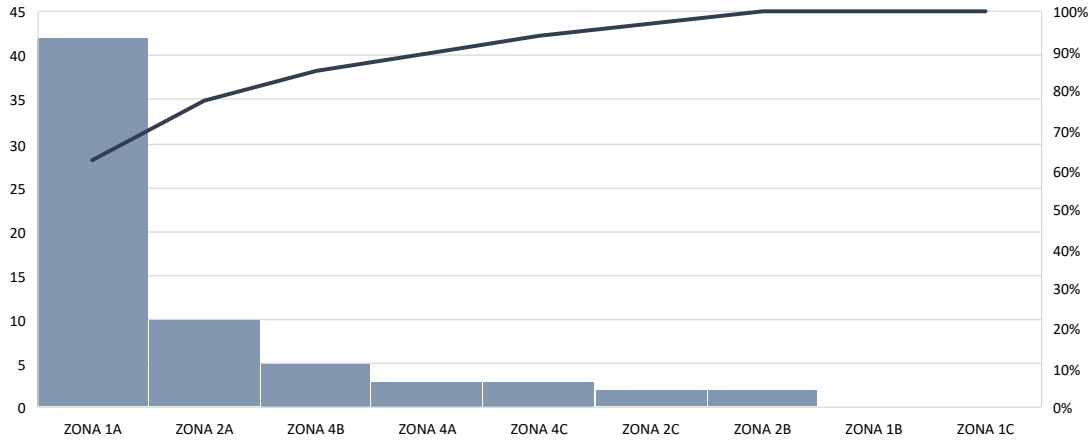


Figura 52 - Diagrama de Pareto representando os defeitos por zona.

Deste modo, ficou definido que o foco da equipa passaria a ser a diminuição de ocorrências na zona 1A e 2A no que a este tipo de erro diz respeito. Esta zona compreendia os pinos 1 a 3 e de 14 a 16 de ambas as zonas.

Uma vez clarificado e detalhados os defeitos e a sua respetiva quantização importava perceber se haveria alguma relação ou especificidade envolvendo os conjuntos de *Press-Fits*, tais como algum par em específico. Através da Figura 53 verifica-se uma maior ocorrência no par do *Press-Fit* 4 e do *Press-Fit* 2, ambos com 22 ocorrências.

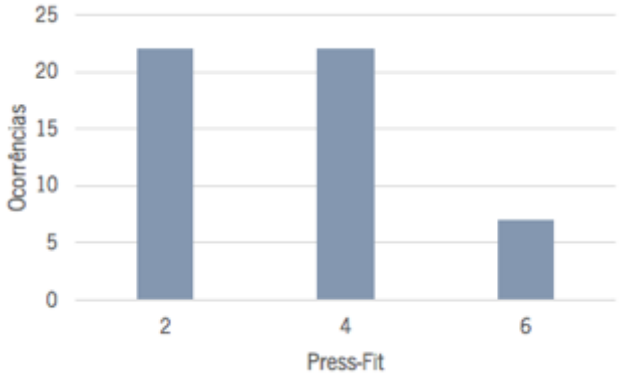


Figura 53 - Número de ocorrências por Press-Fit.

O *Press-Fit* 6 contava com poucas ocorrências quando comparado com os restantes, algo explicado com o facto de se tratar de um *Press-Fit* utilizado aquando de necessidades de escoamento de placas em buffer por motivos operacionais. Significava, por isso, que era um fator que não se restringia a um *Press-Fit* em específico.

Para além disso, foi estudada a relação do número de ocorrências entre turnos, tendo-se obtido o gráfico da Figura 54.

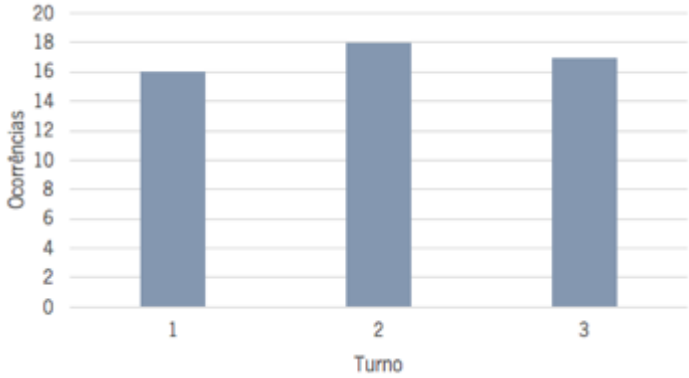


Figura 54 - Número de ocorrências por turno.

A partir da leitura do gráfico a equipa concluiu que, efetivamente, à semelhança da questão anterior, o número elevado de ocorrências era um problema transversal a todos os turnos e que, por isso, não se localizava num grupo circunscrito a nenhum turno, não sendo este um fator a considerar.

Relativamente aos defeitos de dano em toda a extensão (tipo A), foi feita uma análise semelhante à do outro tipo de erro, medindo de que forma o defeito pudesse distribuir-se pelos *Press-Fits*.

A Figura 55 demostra que o defeito do Tipo A ocorre principalmente no par do *Press-Fit* 4, sendo que não se registou nenhuma ocorrência no par do *Press-Fit* 2. Em relação ao par do *Press-Fit* 6, conforme foi referido anteriormente, não foi considerado na análise.

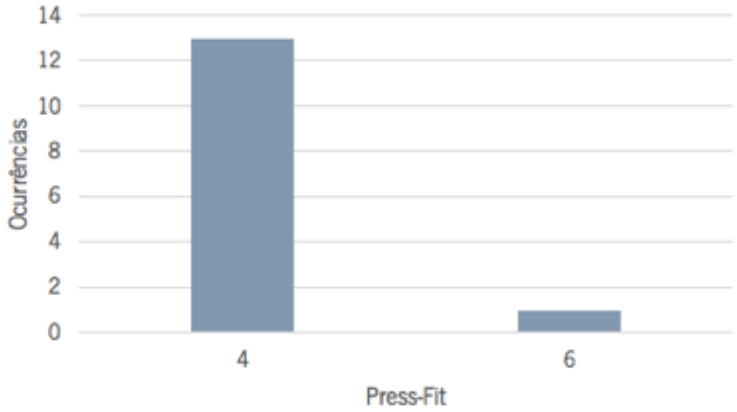


Figura 55 - Número de ocorrências por Press-Fit para o Erro do tipo A.

Também relativamente à localização de danos se procedeu a uma análise ABC cujo gráfico se encontra na Figura 56.

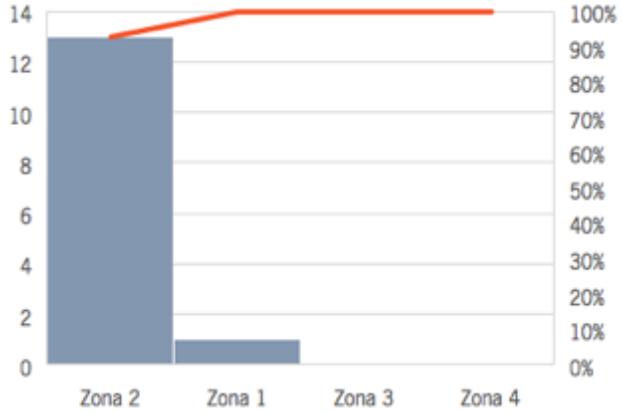


Figura 56 - Gráfico de Pareto relativo às ocorrências de defeito e respetivas zonas afetadas.

Pelo gráfico da Figura 56 constata-se que a zona mais afetada é a Zona 2 seguida da Zona 1, em que 93% dos defeitos ocorreu em 25% das zonas, apontando para um problema específico com o equipamento. Para facilitar a localização desta zona e respetiva comparação elaborou-se um diagrama de concentração simplificado para ilustração do referido, que consta da Figura 57.

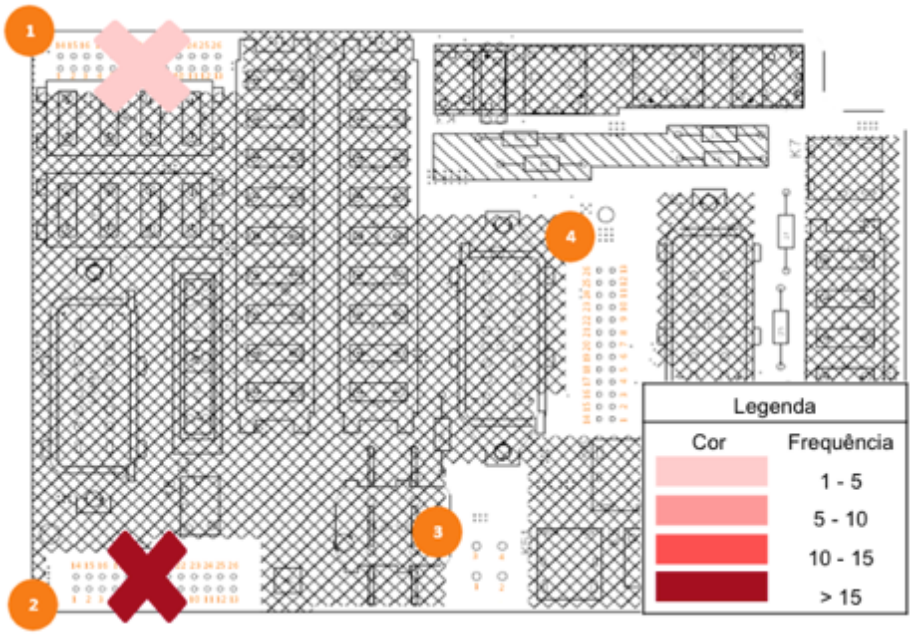


Figura 57 - Diagrama de Concentração para o defeito do tipo A.

Em suma, o par constituído pelos *Press-Fits* 3 e 4 era o conjunto critico para este tipo de erro em específico.

4.2.6.3. Analyse

A etapa que se seguiu à da medição do problema foi a fase de análise onde se aprofundaram as técnicas de análise em busca da causa ou causas raiz do problema. Iniciando a análise pelo defeito do tipo B a equipa elaborou um diagrama de espinha de peixe a partir de um *brainstorming*, que pode ser consultado na Figura 58.

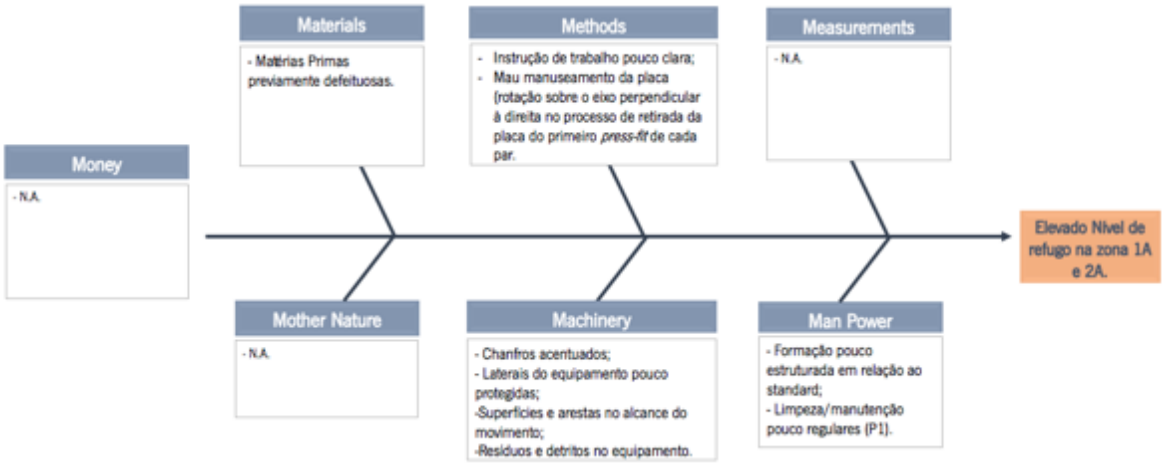


Figura 58 - Diagrama de Espinha de Peixe para as possíveis causas raiz.

A partir da Figura 58 é possível visualizar que em termos de método se consideraram nove possíveis causas: 1) instrução de trabalho; 2) rotação da placa *Power*; 3) conetores com defeito; 4) obstáculos; 5)

arestas; 6) chanfros; 7) resíduos; 8) formação e 9) falta de limpeza. Estas são explicadas detalhadamente a seguir.

Assim, a instrução de trabalho era pouco clara em referir a necessidade de retirada da placa de forma totalmente vertical para que não sofresse torções. Ao possuir uma instrução de trabalho que pudesse induzir em erro ou omitir considerações necessárias, tornava, de igual maneira, a formação pouco eficaz no que concernia à melhor maneira de operar.

Para além disso, identificou-se que um outro possível comportamento poderia estar relacionado com o problema, nomeadamente, o de uma rotação da placa *Power* sob o eixo perpendicular à pessoa do lado direito. Isto poderia acontecer, uma vez que a placa era retirada do *Press-Fit* da esquerda para a base intermédia à sua direita. Para além disso, em termos de materiais colocou-se a hipótese de os próprios conectores virem do fornecedor com defeito.

Relativamente às condições do equipamento consideraram-se que poderiam haver possíveis obstáculos ao alcance do movimento de retirada, de colocação na base intermédia e de colocação no último *Press-Fit*. Nesse âmbito foram identificadas arestas acentuadas como as arestas da própria gaveta, as arestas da estrutura exterior do equipamento e os próprios chanfros da base interna do *Press-Fit* onde a placa era colocada. Colocou-se também a hipótese de resíduos nas cavidades onde eram inseridos os conectores no equipamento poderiam estar a moldar a posição dos pinos aquando da prensagem, causando a sua dobre e dano na placa eletrónica quando casadas no último *Press-Fit*.

Por fim, no campo das possibilidades para a categoria da mão-de-obra considerou-se a formação ineficiente dos colaboradores que não colmatava as falhas ao nível da instrução de trabalho ao não ser claro a apontar para a necessidade ou atenção em se operar a retirada das placas na vertical. Em relação às restantes três categorias não se identificaram possíveis causas que se pudessem relacionar com o problema em estudo.

Uma vez estabelecidas as possibilidades para causa raiz do problema foi elaborada uma tabela *Potencial Problem Analysis* (PPA) (Tabela 20) simplificada e adaptada à realidade em causa, pois era importante determinar quais destas causas realmente se verificavam e definir estratégias para a sua resolução. Assim, mostra o resumo das causas patentes no diagrama de espinha de peixe e o respetivo modo de verificação. Neste parâmetro foram consideradas duas modalidades, o registo e a observação em campo por um determinado período de tempo, que contempla entrevistas aos colaboradores e responsáveis de linha.

Tabela 20 - Tabela com verificação de hipóteses de causa raiz e respetivas ações corretivas.

Número	Hipótese Causa Raíz	Modo de Verificação	Validado/ Não Validado	Ação Corretiva
1	Matérias-primas defeituosas	Registos	Não Validado	
2	Instrução de trabalho pouco clara	Observação	Validado	Reformular Instrução de Trabalho
3	Rotação sob eixo perpendicular à direita	Observação	Validado	Colocação de uma base à altura da gaveta entre press-fits do mesmo conjunto
4	Chanfros acentuados	Observação	Validado	Desbaste de chanfros
			Validado	Colocação de base metálica nas gavetas de PF
5	Laterais pouco protegidas	Observação	Validado	Colocação de borrachas protetoras
			Validado	Marcação na base de local de pouso
6	Superfícies e arestas ao alcance do movimento	Observação	Validado	Colocação de borrachas protetoras
7	Resíduos e detritos no equipamento	Observação	Não Validado	
8	Formação pouco estruturada em relação ao Standard	Observação	Validado	Definição de um plano de formação específico para o Press-Fit
				Quality Alert para manuseamento de placas
9	Limpeza/manutenções pouco regulares	Registos	Não Validado	

Das nove hipóteses colocadas apenas três não se vieram a confirmar. Foram elas as matérias-primas defeituosas (1), pois não havia registos e memória de existirem ou terem existido conectores e pinos danificados de origem, os resíduos e detritos no equipamento (7), visto que não foram observados resíduos e detritos neles e, para além disso, os equipamentos eram limpos com regularidade (9), inclusive pelos registos efetuados nesse sentido, que suportavam a sua execução. Pelo contrário, foram analisadas as instruções de trabalho e constatou-se a inexistência de qualquer referência à necessidade de retirada vertical das placas das gavetas do *Press-fit* (2), a que se juntou a inexistência de um plano de formação específico de formação para o posto em discussão (8). Adicionalmente, foram observados os *Press-Fits* e também se identificaram arestas acentuadas (6), laterais de equipamento pouco protegidas (5) que estavam ao alcance do movimento e ainda chanfros acentuados (4) nas gavetas dos *Press-Fit* (Figura 59) .

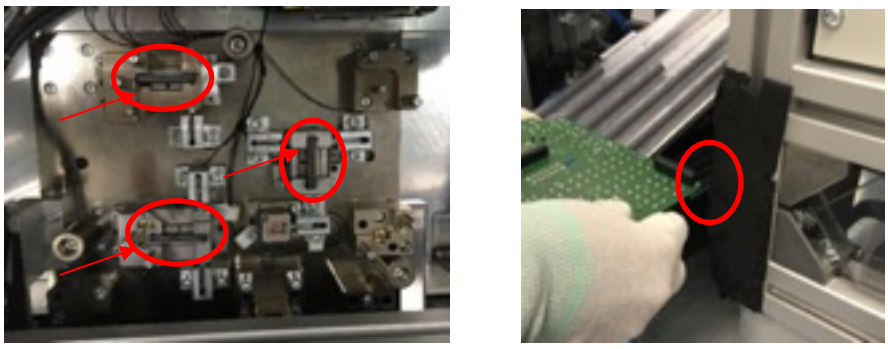


Figura 59 – Arestas acentuadas e choque da placa em laterais pouco protegidas, respetivamente.

Foi ainda possível observar rotações perigosas da placa (3) tendo-se, inclusive, conseguido simular um dano no pino na zona com maior número de registos ao fazer uma rotação da placa sob o eixo

perpendicular à pessoa à direita aquando da sua retirada (Figura 60). Estes aconteciam à saída dos *Press-Fits* 1 e 3.

Figura 60 - Simulação movimento incorreto pela rotação da placa sob o eixo perpendicular da direita.

Deste modo, pensaram-se em formas de melhorar cada uma das situações identificadas. Começando pelas instruções de trabalho a solução passou por atualizá-las no reforço a se retirar a placa verticalmente dos equipamentos. Para o caso da rotação pensou-se na colocação de uma base lateral à altura das gavetas do *Press-Fit* para que o instinto de facilitar o movimento e rodar ligeiramente a placa para a direita fosse combatido, obrigando assim a proceder ao movimento correto e vertical.

Foi ainda pensado colocar uma chapa metálica na gaveta que possuísse apenas aberturas para a colocação dos conectores evitando assim o contacto da placa e conectores com elementos e chanfros acentuados da gaveta. Para além disso, as ações de desbaste e proteção das laterais do equipamento seriam outras ações possíveis, assim como a colocação de um alerta de qualidade nos postos de trabalho a avisar da elevada incidência do defeito e necessidade de se proceder a um correto movimento. A marcação na nova base intermédia do local central para colocação da placa e, por fim a definição de um plano de formação específico para o posto em questão seriam outras das ações possíveis.

Para a análise das causas raiz associadas ao defeito do tipo A, defeito em extensão, a equipa resolveu-se elaborar uma árvore de falhas, pois enquanto que o problema anterior era de um âmbito mais geral e desconhecido, o mesmo não acontecia tanto para este caso. Isto porque a questão de o defeito ser em extensão está mais relacionada com o produto ou máquina do que propriamente ao fator humano e outras categorias consideradas no diagrama de espinha de peixe, pois o desenho do próprio equipamento tinha de assegurar a posição correta da placa para as dimensões da placa em produção. Neste contexto, o diagrama contava com três hipóteses gerais: 1) o material do *Press-Fit* que era a matéria prima que entrava especificamente nesta fase do processo de produção do produto "A", 2) o próprio produto de que fazem parte as placas e, por fim 3) o processo do equipamento.

Iniciando o desenvolvimento da primeira categoria, dentro do material podia-se voltar a ter conectores danificados e estes poderiam vir danificados já do fornecedor ou serem danificados já na fábrica.

Em relação ao produto, este pode possuir diferenças dimensionais entre placas, o que poderia explicar o desalinhamento, pois de alguma maneira poderiam não respeitar as dimensões requeridas e assim não corresponder exatamente às dimensões e desenho para o qual o equipamento foi desenhado ou, poderiam as placas, eventualmente, vir com uma concavidade fora dos parâmetros que causassem o mesmo efeito de desalinhamento dos ilhós com os conectores.

Para além disso, ainda na categoria do produto, no segundo *Press-Fit* do par a placa *power* e o conector podem não estar corretamente encaixados, aumentando a sua distância final, sendo depois inseridos com um certo desnível de altura provocando o desalinhamento em causa. Já sobre o processo da máquina este pode permitir a mobilidade da placa eletrónica ou da placa *power* na gaveta, não a fixando na posição ótima, ou o sensor de presença e posição da placa eletrónica encontra-se desalinhado e/ou descalibrado, fazendo com que possa detetar a placa mesmo que esta se encontre mal posicionada. A árvore de falhas que resume estas possibilidade pode ser encontrada na Figura 61.

Figura 61 - Árvore de falhas para o defeito do tipo A.

Por meio de observação apenas se verificou que as assinaladas com um visto a verde foram observadas, constituindo possíveis causas raízes. As assinaladas com uma cruz vermelha não foram confirmadas, nem por meio de observação nem por meio de registos, pelo que foram descartadas.

No caso da disparidade de distâncias as mesmas podem ser observadas na Figura 62 onde essa diferença é patente com 10,24mm num conector e 10,06mm noutro conector da mesma placa. Para a placa *power* o valor de referência para a distância medida são 10,10mm e constatou-se que essa distância não era uniforme entre os conectores em várias placas e que o conector da zona 1 geralmente

se encontrava mais distante que o da zona 2, permitindo o desalinhamento dos pinos dos conectores com os respetivos ilhós aquando da sua junção no *Press-Fit* seguinte.

Figura 62 - Disparidade de distâncias entre conector e placa.

Quanto às restantes, utilizou-se então a ferramenta *5 Why* (5 Porquês), no sentido de aprofundar as principais causas raiz do problema para assim se definirem ações (Figura 63).

WHY1 (1): Porque existe disparidade de distâncias entre os conectores e a placa?
Existe disparidade porque o prato da prensa está desnivelado.
WHY1 (2): Porque é que o prato da prensa está desnivelado?
O prato da prensa está desnivelado porque os suportes guia deslizam numa gaiola de esferas que está desgastada.
WHY1 (3): E porque é que a gaiola de esferas está desgastada?
Porque não foi substituída, atempadamente, pela manutenção.

WHY2 (1): Porque existe mobilidade da placa Eletrónica nas bases do equipamento?
Existe mobilidade da placa Eletrónica nas bases do equipamento porque existe uma disparidade entre os diametros dos pinos fixadores.
WHY2 (2): Porque é que existe disparidade no diametros dos pinos fixadores?
Porque os pinos fixadores utilizados não são os corretos.
WHY2 (3): Porque os pinos fixadores utilizados não são os corretos ?
Porque no lugar de um pino de diametro circular se encontra um pino de diametro diamante (diametro menor).

WHY3 (1): Porque existe mobilidade da placa Power nas bases do equipamento?
Existe mobilidade da placa Power nas bases do equipamento porque existe uma disparidade entre os diametros dos pinos fixadores.
WHY3 (2): Porque é que existe disparidade no diametros dos pinos fixadores?
Porque os pinos fixadores utilizados não são os corretos.
WHY3 (3): Porque os pinos fixadores utilizados não são os corretos ?
Porque o diâmetro do pino fixador inferior esquerdo é menor do que o correto.

Figura 63 - Aplicação dos 5 Why para as três hipóteses identificadas para o problema do Tipo A.

Da aplicação da referida técnica ficou-se a perceber que não foi necessário recorrer ao quinto "porquê" tendo-se chegado à causa raiz no terceiro "porquê". Através da ferramenta concluiu-se que a disparidade de distâncias se deve ao desnivelamento do prato de prensagem, provocado pelo desgaste das gaiolas de esfera do *Press-Fit* 3. A mobilidade, tanto de uma placa quer da outra, deve-se a diferenças nos pinos fixadores, mais concretamente da troca de pinos para a placa eletrónica. No lugar de um pino de diâmetro circular encontrava-se um de diâmetro diamante e, por isso, com um diâmetro inferior na sua extremidade, causando a tal mobilidade da placa. No caso da mobilidade da placa *power* o pino fixador que lá se encontrava possuía um diâmetro menor que o definido no *Press-Fit* 4 (Figura 64).

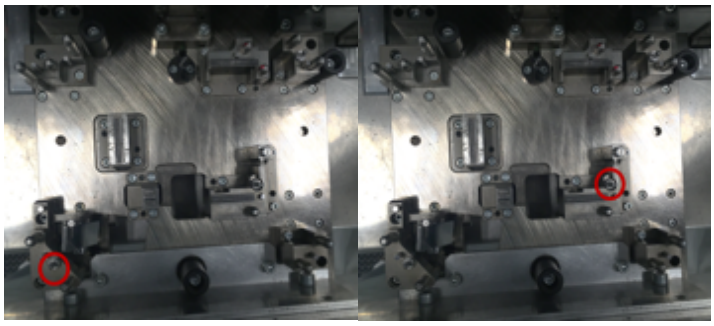


Figura 64 - Pinos fixadores incorretos para a placa Eletrónica e Power, respetivamente.

Chegados a estas conclusões a equipa estava em condições de definir as ações corretivas que podiam mitigar o efeito destes problemas. Eram elas a substituição da gaiola de esferas no *Press-Fit* 3 (que antecede o PF4 de que forma par), a substituição de pinos de fixação na base da eletrónica e *power*. Na Tabela 21 encontra-se a respetiva matriz de Verificação de Causas que inclui as ações corretivas correspondentes para o defeito do tipo A.

Tabela 21 - Verificação de hipóteses de causa raiz e respetivas ações corretivas para o defeito do tipo A.

Hipótese Causa Raíz	Modo Verificação	Validado/ Não Validado	Ação Corretiva
Conectores Danificados provenientes do fornecedor	Registos	Não Validado	
Conectores Danificados no local	Registos	Não Validado	
Diferença dimensional das placas	Registos	Não Validado	
Concavidade exacerbada da placa	Registos	Não Validado	
Disparidade de distâncias entre conectores e placa	Observação	Validado	Substituição de gaiola de esferas no PF3.
Mobilidade da placa Eletrónica no equipamento	Observação	Validado	Substituição de pinos de fixação no PF4 - base Eletrónica.
Mobilidade da placa Power no equipamento	Observação	Validado	Substituição de pinos de fixação no PF4 - base Power.
Sensor de presença e posição da placa eletrónica desalinhado/descalibrado	Diagnóstico da Manutenção	Não Validado	

4.2.7 Risco de Segurança em Novos Tabuleiros

Aquando da receção de novos tabuleiros para a área produtiva que se destinavam a substituir os tabuleiros antigos das placas eletrónicas identificou-se um risco de segurança dada a sua nova fisionomia.

Como se pode observar através das imagens (Figura 65) o conector preto mais elevado sobressai não permitindo o encaixe dos tabuleiros quando empilhados. Em momentos de transporte isto acarreta um risco, pois, desequilibrando-se, podem sofrer quedas, danificando as placas. Para além disso, a sua fisionomia implica um correto empilhamento quando não albergam o conjunto de placas com o conector crítico.

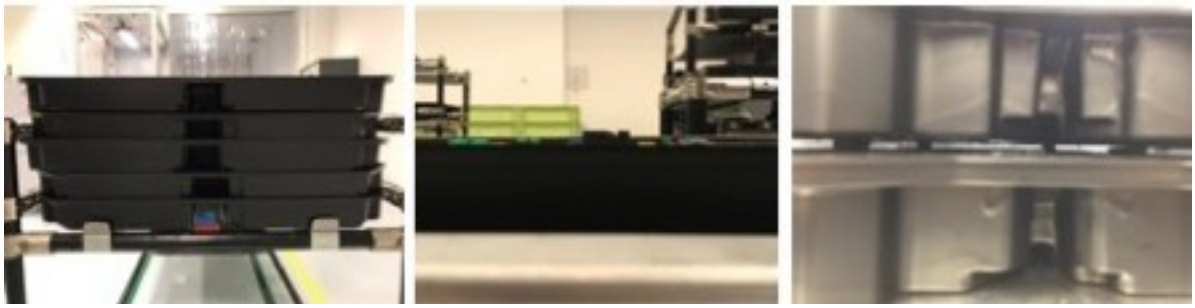


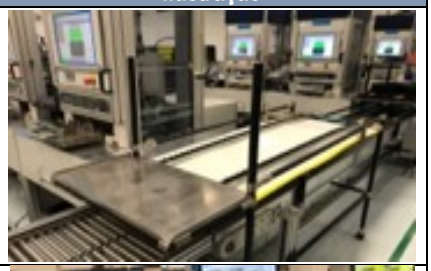
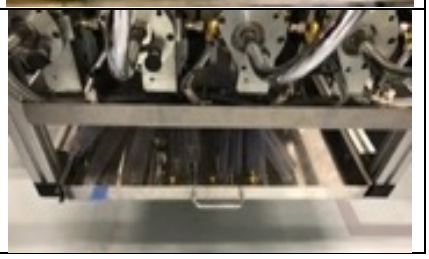
Figura 65 - Riscos novos tabuleiros.

4.2.8 Necessidades de melhoria de bordos de linha

Por último, auscultaram-se algumas situações que preocupavam os colaboradores. No sentido de se perceber que tipo de ações menos estruturais podiam ser executadas procurou-se, em conversa com os colaboradores, perceber que tipo de situações os preocupava e que careciam de uma resposta. São elas as que constam da Tabela 22.

Como forma de comprovar a necessidade de ajustamento da direção e sentido da rampa de embalamento que consta da Tabela 22, procedeu-se a uma avaliação ergonómica do movimento ao qual se recorreu à ferramenta de avaliação ergonómica da Aptiv. Esta foi desenvolvida por estudantes do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade do Minho em contexto de projeto integrado incluído no plano curricular do curso. Esta ferramenta consiste num formulário online onde, selecionando as opções que correspondem às características do posto e do movimento a avaliar, direcionam para técnica de avaliação mais indicada com um formulário específico que deve ser preenchido. Nesse sentido, conforme é possível observar na Figura 66 foi selecionado o caso de o movimento ser feito na lateral com duas mãos.

Tabela 22 - Necessidade de intervenção de serralharia no bordo de linha.

Necessidade	Ilustração
Necessidade de colocação de bases de suporte de tabuleiros ao lado dos *Press-Fits* para que seja possível colocar o tabuleiro de material para análise.	
Necessidade de se colocar suportes individuais para os módulos nos equipamentos de FT que servirão para colocar material para análise.	
Necessidade de se inverter o sentido da rampa de embalamento para que se pegue nas caixas vazias e se empurre com elas cheias.	
Necessidade de separar os tubos vazios grandes dos pequenos na gaveta de recolha do THT.	

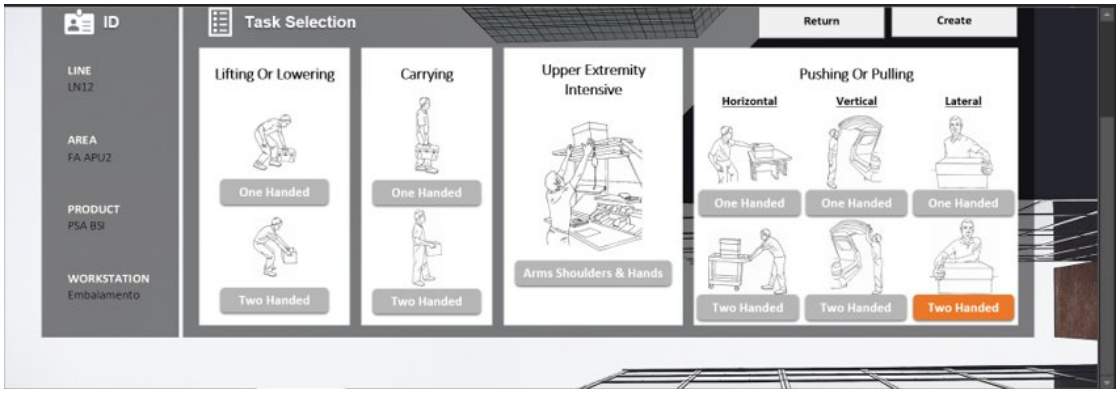


Figura 66 - Primeira interface da ferramenta de avaliação ergonómica.

Após este passo, preenche-se um formulário (Figura 67) onde se inserem os dados necessários para se proceder à avaliação.

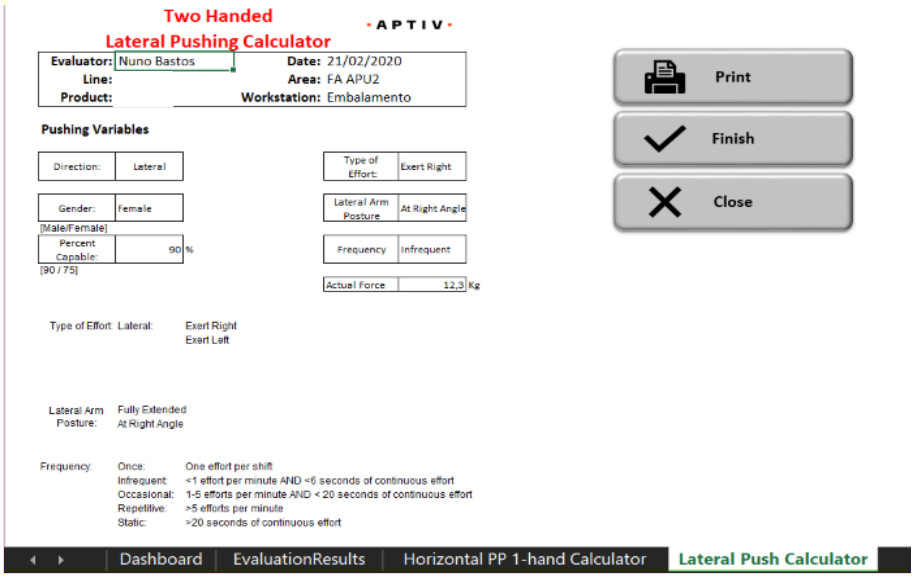


Figura 67 - Interface de inserção dos dados necessários para a avaliação.

Neste caso, o movimento é lateral, exercido para a direita com os braços lateralmente em ângulo reto, cuja frequência do movimento é "não frequente" dado que acontece 0,66 vezes por minuto. Como resultado, de acordo com a Figura 68, o movimento não é ergonómicamente aceitável, visto que para as características identificadas o peso recomendado para manuseamento é de 4,7 Kg, o que contrasta com os 12,3 Kg atualmente manuseados.

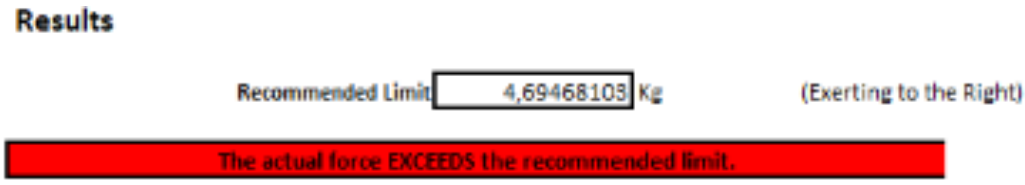


Figura 68 - Resultado da avaliação ergonómica.

Assim, identificou-se a necessidade de se trocar as rampas para que o seu sentido fosse invertido e se puxasse a caixa vazia e não cheia. A simulação desta situação consta da Figura 69.

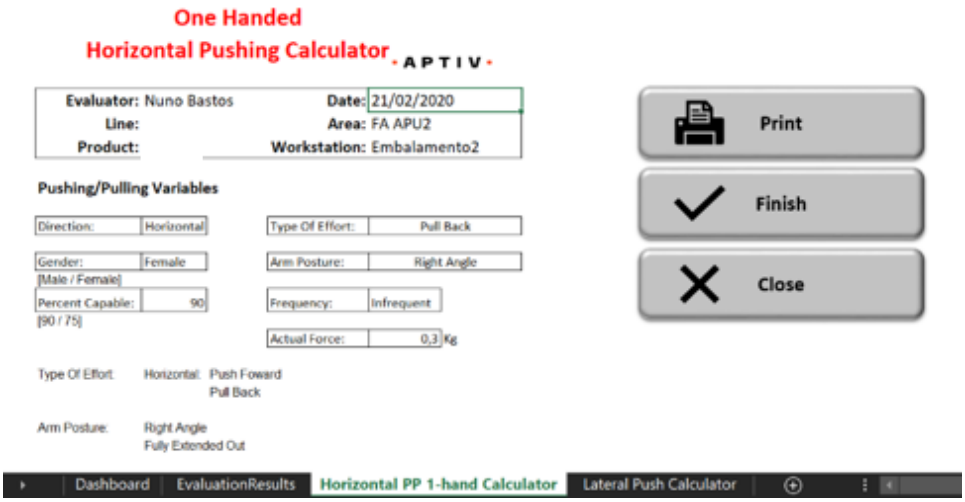


Figura 69 – Avaliação da troca de sentido do movimento.

Como é possível observar pela Figura 70, o resultado desta ação revelou-se positivo uma vez que o resultado da avaliação ergonómica a esta mudança não excedeu os limites validando a necessidade da serralharia para executar esta mudança.

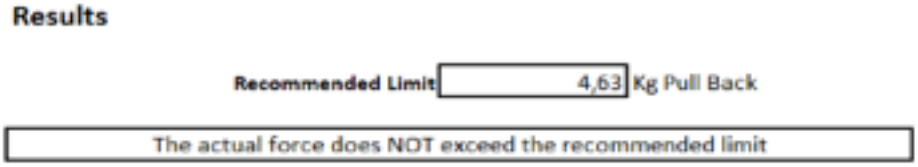


Figura 70 - Resultado da simulação da avaliação ergonómica.

4.3 Síntese dos problemas identificados

Uma vez identificados os problemas iniciais apresentam-se na Tabela 23 um resumo com os principais problemas identificados, bem como as suas consequências e foco de atuação.

Tabela 23 - Resumo problemas identificados, consequência e tipos de desperdícios.

Problema	Consequência	Foco intervenção	Tipo de desperdício
Tempo de Ciclo superior ao TT e Sistema desbalanceado	Incumprimento na entrega da quantidade requerida pelo cliente associado a perdas de eficiência	Posto ICT, FT e *Coating*	*Muda*: Espera do Cliente, Inventário entre postos.
Atividades que não acrescentavam valor no *Coating Line*	Tempo de ciclo mais elevado	3 operações específicas identificadas	*Muda*: Sobreprocessamento.
Falhas de Abastecimento	Perdas de Produtividade e esperas	Rota Logística	*Muda*: Espera e Transportes.
Instruções desatualizadas	Não conformidade com práticas atuais	Atualização das instruções de trabalho	*Muda*: Defeitos e Processamento incorreto; *Mura:* Variação
Necessidade de atualização do programa 5S	Perdas de eficiência e riscos de qualidade	Implementação do Plano de Ações	*Muda*: Movimentação.
Refugo Elevado *Press-Fit*	Desperdício e risco de qualidade	Causa-raiz do refugo no *Press-Fit*	*Muda*: Defeitos; *Mura*: Variação.
Posição Insegura dos tabuleiros novos	Risco de Segurança e Quedas	*Standard* Manuseamento	*Muda*: Defeitos.
Necessidades de intervenção de serralharia no bordo de linha	Operação menos ágil e problemas ergonómicos	Plano de ação para resolução das situações identificadas	*Muda*: Movimentação e Sobreprocessamento.

5 APRESENTAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIA

Neste capítulo são apresentadas as propostas de melhoria que pretendem responder aos desafios colocados pelos problemas encontrados na fase anterior. De forma a estruturar as ações elaborou-se uma tabela usando a ferramenta 5W2H, conforme é possível observar na Tabela 24.

Tabela 24 - Plano de ações 5W2H.

What		Why	How	Who	When	Where
Problem	**Action**					
Tempo de Ciclo superior ao TT e Sistema desbalanceado e atividades que não acrescentam valor no *Coating Line*	Cálculo de capacidades e avaliação teórica do número de máquinas necessárias	Posto ICT e FT com TC acima de TT - falta de capacidade; Falta e excesso de capacidade em alguns postos	Medição de tempos de ciclo e cálculos teóricos	Nuno Bastos e equipa de IE e Produção	2019	FT, ICT e *Coating*
	Eliminar tarefas que não acrescentam valor	Permitem obter folga de capacidade e aumentar a eficiência	Definição de novas operações de trabalho	Nuno Bastos e equipa de IE e Produção	2019-2020	FT, ICT e *Coating*
Falhas de Abastecimento	Revisão rota logística	Necessidade de ir ao encontro das atuais necessidades de abastecimento	Revisão de necessidades de abastecimento, e capacidades de armazenamento e redesenho de rota logística	Nuno Bastos e equipa de IE, Produção e PC&L	2020	Zona Produtiva do Produto "A"
Instruções desatualizadas	Atualizar instruções de trabalho	Instruções de trabalho desatualizadas comprometem a consistência, qualidade e formação dos colaboradores	Observação dos postos de trabalho e cruzamento com novos requisitos operacionais	Nuno Bastos	2019-2020	ICT, *Coating*, H&L e Embalamento
Necessidade de 5S	Auditorias 5S e Concretização de planos de ação	Conduzem a um ambiente de trabalho normalizado, limpo e organizado, bem como maior eficiência	Implementação conceito 5S	Nuno Bastos e equipa de IE e Produção	2019	Zona Produtiva do Produto "A"
Refugo Elevado *Press-Fit*	Projeto *Lean Six Sigma*	Permite chegar à causa raiz e eliminar ou mitigar o problema	Aplicação da fase Improve e *Control* do DMAIC	Nuno Bastos e equipa LSS	2020	*Press-Fit*
Posição Insegura dos tabuleiros novos	Aplicação de gestão visual e novo procedimento	Evita a posição insegura dos tabuleiros novos que comprometem a integridade do produto	Observação dos procedimentos	Nuno Bastos e equipa de IE e Produção	2019-2020	Zona Produtiva do Produto "A"
Necessidades de intervenção de serralharia no bordo de linha	Colocação Bases de suporte tabuleiros Press-Fit	Necessidade de espaço para colocação de material para análise	Recurso ao departamento de serralharia	Nuno Bastos e equipa de IE e Produção	2019-2021	*Press-Fit*
	Colocação suportes individuais FT	Necessidade de espaço para colocação de material para análise	Recurso ao departamento de serralharia	Nuno Bastos e equipa de IE e Produção	2019-2022	FT
	Inversão sentido rampa embalamento	Conformidade ergonómica	Recurso ao departamento de serralharia	Nuno Bastos e equipa de IE e Produção	2019-2023	Embalamento
	Colocação de divisória de separação na gaveta THT	Necessidade de separação de tubos	Recurso ao departamento de serralharia	Nuno Bastos e equipa de IE e Produção	2019-2024	THT

5.1 Propostas de melhoria à área produtiva da linha do produto "A"

Esta secção apresenta algumas propostas para melhorar a linha de montagem do produto A. Estas propostas passam pela aquisição de novos equipamentos, novos modos operatórios, atualização de instruções de trabalho, novos procedimentos, atualização de 5S, projeto *Lean Six Sigma* e ainda de melhoria de bordos de linha.

5.1.1 Aquisição de um equipamento *FT*

Na secção 4.2.1 foi identificado que o posto FT estava a operar com um tempo de ciclo ligeiramente superior ao *Takt-Time* (13 segundos), procedeu-se ao cálculo do número teórico de máquinas para verificar se este se encontrava em linha com esse valor. Utilizando a fórmula teórica (1).

$$Nº\ de\ Máquinas = \frac{Tempo\ de\ Processamento}{Takt-Time} \quad (1)$$

A partir dos valores contidos na Tabela 15, procederam-se a dois cálculos: um primeiro utilizando o valor do tempo de TC médio para um equipamento, considerando o respetivo tempo de *handling* e um segundo utilizando o TC mais elevado do *mix* de versões que são produzidos. Na Tabela 25 constam os resultados dos cálculos respetivos.

Tabela 25 - Nº. teórico de máquinas.

	Valor (seg)	Nº. Máquinas
TC Médio	91,28	7,02
TC EL5 6.17	98,8	7,60

Conforme é possível observar em ambos os casos os valores apontam para mais de sete máquinas o que indica que para a procura do momento o número de equipamentos necessários para poder responder de forma inequívoca à procura seriam oito máquinas, ou seja, seria necessário adicionar mais uma máquina ao número já existente (sete *Funcional Tests*).

5.1.2 Propostas de novo modo operatório no FT

Como forma de avaliar a possibilidade de se reduzir o tempo de ciclo do posto FT analisaram-se mais detalhadamente as duas componentes do tempo de ciclo deste posto: a componente do tempo de processamento efetivo e a componente do tempo de *handling*. A primeira, como se trata de um tempo dependente do número de iterações que o equipamento realizava ao módulo e que estava associado às próprias características do software requerido pelo cliente, não permitia que este fosse trabalhado/modificado. Contudo, no que ao *handling* diz respeito a situação era diferente, pois, à partida,

este configurava um tempo de desperdício que podia ser trabalhado. Por esse motivo, optou-se por fazer um estudo dos tempos com foco nesta componente de *handling*.

Na Tabela 58, que consta do Apêndice II, encontra-se um registo dos tempos de handling onde estes estão subdivididos em tempo de *handling* puro e tempo de transporte. O primeiro dizia respeito ao momento em que a colaboradora pegava no módulo pronto e colocava um novo fechando a sua tampa. O segundo significava o tempo de transporte do módulo desde o equipamento até ao tapete que direcionava os módulos para o posto de trabalho seguinte. Importa também referir que dada a disposição dos FTs não se consideraram os dois mais próximos do tapete uma vez que pela sua curta distância os valores de transporte seriam irrelevantes e os tempos de *handling* não apresentam razão para serem influenciados.

Tabela 26 - Discriminação tempos de Handling do posto FT.

	Transporte	Handling Puro	Total
Média	2,1	3,3	**5,4**

Os resultados que constam da Tabela 26 permitem perceber que a componente que mais "pesava" no *handling* era mesmo a do *handling* puro, ocupando em média 3,3 segundos do *handling* global. Para além disso, este estudo permitiu ter uma noção mais concreta e direta do valor mais real do tempo de *handling*. O valor de handling global (5,4 segundos) foi o valor considerado nesta dissertação. Para esse efeito foi decidido em equipa que o valor considerado seria arredondado por defeito.

Todavia, apesar de o valor de *handling* ser menor que o anteriormente estimado, como se pode observar na Tabela 27, para o tempo de ciclo do modelo EL5.6.17 (TC mais elevado) o número de equipamentos existente continuava a ser insuficiente. Contudo, o tempo de ciclo global médio baixou para um valor que permitia uma operação a quatro decimas de segundo (12,6segundos) abaixo do TT. No entanto, este valor estimado não refletia a dificuldade real observada inicialmente em cumprir com o *takt-time*. Ou seja, outro elemento estaria a influenciar, pois, efetivamente, foi observado que o tempo de ciclo para o *high runner* foi de 13 segundos. Para além disso, significava também que, caso no futuro se verificasse uma mudança do *mix* de produção e o modelo EL5.6.17 vier a ter maior importância em termos de volume de produção, o sistema poderia estar em causa, mantendo-se por isso válida a recomendação anterior.

Tabela 27 - Tempo de Ciclo FT e Cálculo do número de máquinas.

Tempo de Ciclo FT				
Modelo	Test	Handling	Total CT	Mix BRG
EL3 5.7	81,8	5	86,8	14%
EL3 6.17	83,1	5	88,1	50%
EL4 6.17	85,7	5	90,7	26%
EL5 5.7	88,4	5	93,4	4%
EL5 6.17	90,8	5	95,8	5%
TC (Seg)			**88,31**	**12,6**

	Valor (seg)	Nº. Máquinas
TC Médio	88,31	**6,79**
TC EL5 6.17	95,8	**7,37**

O elemento que poderia estar em falta seria a variável tempo de resposta face a um teste que acabasse, por exemplo, a seguir a outro que estivesse a ser atendido nesse momento pelas duas colaboradoras.

Por esse motivo, foram observadas as colaboradoras e equipamentos e foram obtidos os tempos que traduziam esse tempo de resposta, que constam da Tabela 28.

Tabela 28 – Tempos de resposta a equipamentos cujo processo terminou, mas sem disponibilidade imediata das colaboradoras.

Intervalo de Tempo (segundos)				
2,39	6,28	7,94	11,52	7,12
6,96	3,07	2,98	8,71	4,12
2,27	3,54	4,34	2,3	2,68
2,37	4,47	3,15	6,52	4,2
2,53	2,88	2,2	2,68	4,17
Média	**4,5**			

A partir da Tabela 28 verificou-se que, em média, um equipamento que terminasse enquanto as colaboradoras estivessem ocupadas com outros equipamentos, aguardava resposta durante 4,5 segundos. Este valor, apesar de não poder ser diretamente imputado ao tempo de ciclo global, pois não era uma constante, permitiu concluir que havia uma questão de utilização do equipamento que necessitava de ser considerada.

Assim, urgiu encontrar uma solução que abordasse as três questões até aqui identificadas: o tempo de transporte, o handling puro e o tempo de espera do equipamento. Nesse sentido, foram planeados quatro cenários diferentes, descritos nas secções seguintes.

5.1.2.1. Cenário 1- Intercalar FT com RF

O primeiro cenário pressupôs intercalar os sete equipamentos FT com os quatro equipamentos RF. Deste modo, a distância entre o FT e o RF seria praticamente desprezável, eliminando-se essa componente. Todavia, o *handling* puro, como consiste nas operações de retirar o módulo, colocar o módulo seguinte e fechar a tampa, não pode ser eliminado, constituindo operações que não acrescentam valor, mas são necessárias. Em relação ao tempo de resposta esperava-se um alívio, pois pressupunha-se que neste agrupamento adicionar-se-ia a colaboradora atualmente responsável pelos testes RF, ficando duas colaboradoras responsáveis por dois conjuntos de três equipamentos intercalados e outra pelos restantes. Para além disso, as colaboradoras já não teriam de se deslocar do tapete para os equipamentos, estando mais disponíveis e próximas dos dois tipos de equipamentos.

A Figura 71 esquematiza a possível disposição dos equipamentos e respetivo agrupamento onde estão também incluídos os dois tapetes *In* e *Out*. Os números abaixo correspondem ao tempo de processamento em segundos.

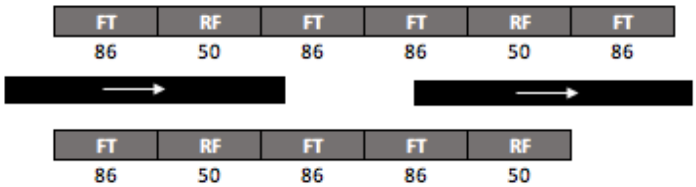


Figura 71 - Esquema da disposição dois equipamentos intercalados e respetivo TC.

Em termos de previsão de tempo de ciclo final primeiramente tentou-se representar de forma gráfica a sequência de módulos num agrupamento triplo (FT/RF/FT) para antecipar a sua dinâmica (Figura 72).

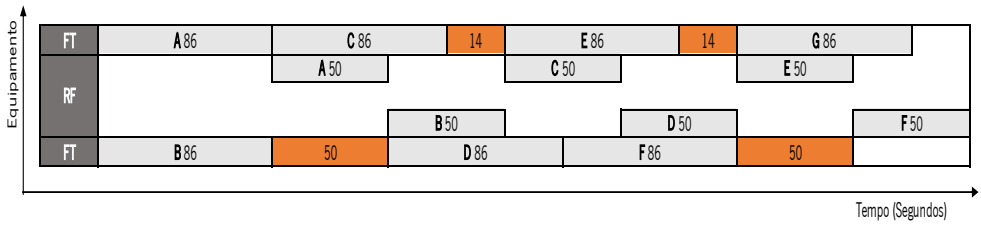


Figura 72 - Gráfico da sequência de módulos num agrupamento triplo.

A partir da Figura 72, é possível concluir que o tempo de ciclo deste agrupamento situar-se-ia nos 50 segundos, tempo equivalente ao RF *Test*, uma vez que em sequência foi possível utilizar a 100% o equipamento RF debitando de 50 em 50 segundos um módulo. Por oposição, um dos equipamentos ficaria com uma taxa de ocupação mais reduzida uma vez que ficaria sem trabalhar 50 segundos de dois em dois modelos.

Em termos globais, a partir da Tabela 29 é possível constatar que o tempo de ciclo agregado dos equipamentos intercalados situar-se-ia nos 13,96 segundos, o que inviabilizou a solução apresentada.

Tabela 29 - Cálculo do tempo de ciclo do novo posto.

3 Conjuntos de 3 (FT+FT+RF)		
TC Conjunto	50	seg
TC 3 Conjuntos	16,67	s
Tx. Prod.	0,06	peças/seg
1 Par (FT+RF)		
TC Par = 91,2s	86	seg
Tx. Prod.	0,01	peças/seg
Tx. Prod. Agregada		
0,072		seg
TC Agregado		
13,96		seg

5.1.2.2. Cenário 2 – Recolha e Reposição Sequencial

O cenário 2 implicaria a colocação sequencial de módulos pelos equipamentos na expectativa de que a variabilidade resultante, também da colocação atual não sequencial, pudesse diminuir e potenciar um trabalho mais bem repartido pelas colaboradoras, ficando uma responsável por retirar e colocar no tapete e a outra por colocar o módulo novo no equipamento de teste (Figura 73). Com isto, era expectável reduzir o tempo de espera do equipamento e normalizar a dinâmica dentro do posto pois seria possível antecipar o término do módulo seguinte. Para além disso, com a repartição do trabalho o tempo de *handling* puro diminuiria em dois terços, pois, a colaboradora que retirava o módulo já não teria de colocar o novo módulo e fechar a tampa, ficando este trabalho para a colega.

Figura 73 - Esquema modo operatório para cenário 2.

A fim de verificar a sua viabilidade testou-se a solução cujos resultados do tempo de ciclo novo se encontram na Tabela 30.

Tabela 30 - Tempo de Ciclo Cenário 2 (segundos).

											Média
Tempo de Ciclo (seg.)	12,4	18,7	13,2	13,9	18,0	12,5	16,9	8,4	13,1	6,4	13,4

A partir da Tabela 30 é possível concluir que na realidade não se verificou uma melhoria no tempo de ciclo, pois apesar das vantagens aparentes seria uma solução que funcionaria caso os tempos de processamento fossem fixos e não variáveis. Por esse motivo, aquando de, por exemplo, um módulo terminasse de ser processado, enquanto as colaboradoras estiverem a tratar de outro, este módulo não obteria a mesma resposta que pelo *standard* atual, pois, nesse caso, haveria a possibilidade de a 2ª colaboradora estar livre para atender essa situação. Assim, este cenário ficou também excluído.

5.1.2.3. Cenário 3 – Recolha por lote e por carrinho

O cenário 3 consistia em manter o mesmo modelo do cenário anterior, mas com a diferença de que a colaboradora seguiria com um carro de apoio onde colocaria os módulos acabados de ser processados à medida que iam ser libertados. No final esse carrinho seguiria para o posto de trabalho seguinte (RF *Test*) evitando ter de se deslocar para o posto seguinte de cada vez que um módulo fosse libertado, estando mais próxima dos equipamentos (Figura 74). Contudo, pelas mesmas razões do cenário 2 e pelo facto de que o carrinho seria mais um elemento a criar entropia no espaço onde já coabitam duas colaboradoras, esta opção foi excluída.

Figura 74 - Esquema modo operatório do cenário 3.

5.1.2.4. Cenário 4 – Buffer Out

O cenário 4 surgiu como forma de dar prioridade à ocupação dos FTs de forma a potenciar a sua utilização. Para isso, colocar-se-iam *buffers* de saída individuais nos equipamentos, como pretende representar-se na Figura 75 de forma a que estes, mal acabem o seu processamento, possam ser colocados nesse *buffer*, serem alimentados, relegando para momentos de espera por parte das colaboradoras a retirada dos módulos processados para o posto seguinte. Deste modo, manter-se-ia o *standard* operatório do posto em que, recordando, uma colaboradora responsabiliza-se pela retirada e alimentação de quatro equipamentos, sendo que os restantes ficariam a cargo da colega.

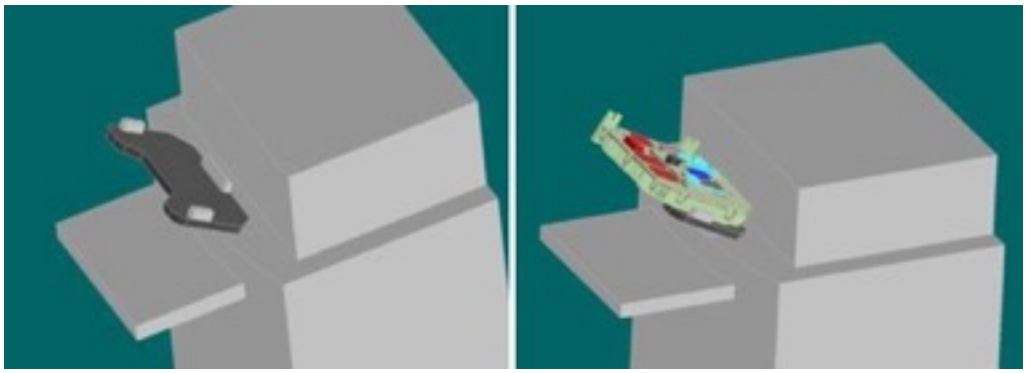


Figura 75 - Esquema Buffer Out para o Cenário 4.

5.1.2.5. Síntese dos Cenários

Na Tabela 31 é possível observar as vantagens e desvantagens anteriormente referidas de forma resumida.

Tabela 31 - Vantagens e Desvantagens de cada cenário proposto.

Cenários	Vantagens	Desvantagens
Cenário 1	Menor distância entre FT e RF.	Tempo de ciclo previsto superior ao TT.
	Espectativa de menor tempo de resposta.	
	Maior proximidade entre colaboradores e tapete.	
Cenário 2	Novo *standard work* que reparte operações por colaboradora.	Tempo de ciclo superior ao TT.
	Expectativa de redução em 2/3 do tempo de *handling* puro	Dependente de menor variabilidade dos tempos de processamento para as diferentes versões de módulos.
Cenário 3	Novo *standard work* que reparte operações por colaboradora.	Dependente de menor variabilidade dos tempos de processamento para as diferentes versões de módulos.
	Evita múltiplos deslocamentos entre o e o tapete de saída.	Tempo de ciclo previsto superior ao TT.
		Carrinho poderá criar entropia no espaço já coabitado por duas colaboradoras.
Cenário 4	Potencial maior utilização do equipamento.	Manutenção do modo operatório atual
		Carece de teste

Assim, determinou-se que o cenário 4 apresentava a maior vantagem e, portanto, deveria seguir para teste como forma de validação, ou não desta proposta. Contudo, devido a restrições temporais motivadas pela situação pandémica, não foi possível prosseguir com o teste.

5.1.3 Atualização de Instruções de Trabalho

Tal como referido na secção 4.2.3., as instruções de trabalho careciam de atualização. Essa atualização era necessária em cinco postos:

- Posto do ICT;
- Posto *Coating Stand Alone*;
- Etiquetagem no posto H&L;
- Etiquetagem no posto H&L, nomeadamente na máquina automática nova;

- Posto de Embalamento.

De seguida explicam-se as alterações efetuadas e as respetivas instruções de trabalho atualizadas encontram-se disponíveis no Apêndice III.

Relativamente ao posto do ICT este consistia, conforme já mencionado na secção 4.1.3., na colocação de placas *Power* acabadas de sair do posto THT para serem testadas ao nível dos circuitos. Para isso, as placas deviam ser colocadas num equipamento que, em termos mais acessíveis, se assemelhava a uma torradeira. Para a elaboração da instrução de trabalho teve-se em atenção às características estruturais do equipamento em termos de funcionamento e encaixe da placa. Apurou-se o modo como se manuseava a placa desde a sua retirada do tabuleiro até à sua colocação de volta no tabuleiro para seguir para o posto seguinte. Tanto na fase de retirada da placa do tabuleiro como na da sua reposição importava que estas fossem colocadas numa sequência em "zig-zag" para que à medida que fossem colocados o braço e a mão que segurava nas placas não passasse por cima de placas já colocadas, não as danificando em caso de queda (Figura 121 do Apêndice III).

Para o posto de *Coating Stand Alone* importava definir de que maneira a colaboradora deveria operar aquando da existência de apenas uma máquina em condições de funcionamento. Desse modo, partiu-se para a observação do funcionamento do posto da forma atual com duas colaboradoras e replicou-se ajustando as operações para apenas uma máquina (Figura 122 do Apêndice III).

De acordo com o referido no capítulo anterior, na secção 4.2.3. o posto de Etiquetagem no H&L carecia de uma atualização a propósito de questões de qualidade, nomeadamente de colocação da etiqueta. Uma vez que se verificaram no passado questões relativas a má colagem de etiquetas e como em termos de procedimento não havia nenhum de reforço da colagem, entendeu-se que neste posto, após o momento de colagem, se devia assegurar que esta estava bem colada ao passar duas vezes o dedo na etiqueta. Adicionalmente, colocou-se um aviso do tipo de defeito que poderia ocorrer de modo a alertar e consciencializar a colaboradora para a importância da operação extra que se introduziu (Figura 123 do Apêndice III).

No posto de H&L, descrito na secção 4.1.3., paralelamente à estação manual introduziu-se uma estação automática. Pelo facto de ser um equipamento diferente do existente exigiu, por isso, uma instrução de trabalho que permitisse aos colaboradores poderem operar adequadamente. Após uma formação do instalador e recolhidas as informações necessárias desenhou-se a respetiva instrução de trabalho (Figura 124 do Apêndice III).

No seguimento de questões relativas à qualidade descritas na secção 4.1.3., o posto de embalamento necessitou de ver atualizada a sua instrução de trabalho de modo a estar de acordo com os requisitos de inspeção requeridos pelo departamento de qualidade. Destaca-se o reforço da verificação da efetiva colagem da etiqueta, bem como da integridade do código nela contido.

Como forma de resposta a outro problema identificado pelo departamento de qualidade, mais concretamente a respeito de pernos de suporte partidos e detritos de cartão presentes no módulo final para o cliente, o investigador em conjunto com a equipa de qualidade observou o movimento das colaboradoras tendo-se identificado que a falta de normalização no modo como se introduzia o módulo nas caixa para o cliente constituía um movimento perigoso, pois podia exercer-se uma força nos fusíveis contra a estrutura interna de cartão das caixas que poderia enfraquecer os pernos e danificar o cartão, e daí introduzir os detritos de cartão no módulo. Assim, incluiu-se um conjunto de operações normalizadas que permitiram operar com mais segurança em termos de qualidade, nomeadamente a introdução do módulo com o conector grande azul para cima, pois oferecia menos resistência na sua introdução na embalagem. Para isso, os pontos de inspeção foram atualizados e as novas normas de embalamento introduzidas (Figura 125 do Apêndice III)

5.1.4 Novo procedimento *Coating Line*

Uma vez que o *Coating* era o terceiro posto com maior tempo de ciclo e o problema no ICT que era responsável pelo elevado tempo de ciclo se devia a um problema técnico fora do âmbito do presente projeto, entretanto, resolvido, foi feita uma análise mais detalhada na secção 4.2.2. às operações que fazem parte do *Coating Line.* Nesse sentido, foi proposto um novo procedimento que consistiria em retirar um calcador da palete que seguiria novamente para o processo. Ao retirar esse calcador a operadora, uma vez colocadas as novas placas na palete, podia retirar o calcador da palete que acabaria de sair do processo e se encontrava imediatamente atrás da palete que iria seguir novamente o processo e colocar diretamente nela, evitando ter de retirar o calcador, retirar as placas, colocar novas, pegar no calcador e voltar a inseri-lo. Assim o calcador é retirado da palete que vem imediatamente atrás deixando essa palete já livre do calcador para se retirar as placas quando a outra palete da frente seguir para o processo. Na Figura 76 é possível observar o seu funcionamento.

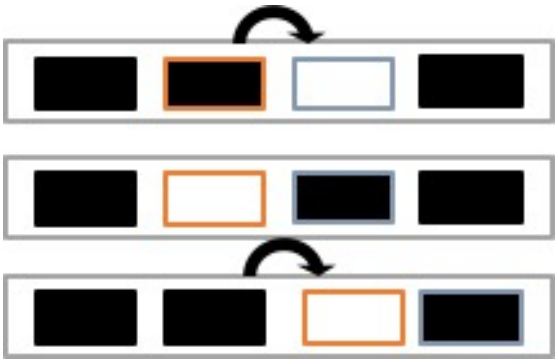


Figura 76 - Esquema de novo procedimento no Coating Line.

Ao criar este novo procedimento aproveitou-se para atualizar a respetiva instrução de trabalho de acordo com o identificado na secção 4.2.4., tendo sido essa atualização, que já estava implementada na prática, que permitiu o tempo de ciclo observável de 16 segundos na secção 4.2.1..

Como forma de determinar o impacto em termos de tempo de ciclo, usou-se a ferramenta *work combination table,* muito usada na empresa, que usa tempos padronizados associados a *motions* (movimentos) onde um *motion* corresponde a 0,6 segundos. A partir desta ferramenta e construído o cenário, foi possível estimar um ganho de menos 2,4 segundos no tempo de ciclo conforme é possível confirmar consultando o Apêndice IV.

5.1.5 Atualização 5S

No âmbito da auditoria já mencionada na secção 4.2.5., foram identificados na Tabela 19 desta secção vários pontos que careciam de ação. No seu seguimento iniciaram-se as ações necessárias para resolver as situações encontradas.

No âmbito da separação *(Seiri)* de elementos necessários e desnecessários não foram identificados elementos desnecessários na área produtiva, mas foram identificados casos de elementos que são necessários, mas estavam em falta, nomeadamente os suportes de garrafas na rampa exterior de paletização e no posto de *Fuse Insertion* que foram já instalados.

Seguindo para a fase da organização (*Seiton*) foram colocados nas corretas posições os carros de apoio do *Kanban Flow Board*, da bancada de reparação e a escada de apoio, bem como as paletes na zona de paletização. A área do *Kanban Flow Board* foi definida, assim como a delimitação a fazer do supermercado local do THT.

O passo seguinte foi proceder à normalização (*Seiketzu*), visto que não foi necessária a etapa de limpeza (*Seizo*) havendo já um plano de limpeza executado por uma entidade externa e pelas colaboradoras no final de cada turno. Na etapa da normalização recorreu-se às marcações no chão por fitas coloridas e às

etiquetas identificadoras. Foram então marcadas as áreas do *Kanban Flow Board*, o seu quadro, armário de apoio e o seu carro de apoio. Seguiram-se as marcações do local do carro de apoio da bancada de reparação, a sua zona de refugo, a zona de arrumação de paletes, o supermercado local do THT e a zona de arrumação da escada de apoio.

Uma vez nos locais definidos e corretamente identificados, foi criada a norma apoiada pelo conceito de gestão visual. Como forma de garantir estes resultados (*Shitzuke*) definiu-se que mensalmente deveriam ser feitas auditorias 5S e sensibilização das colaboradoras sempre que sejam identificadas falhas na sua manutenção e no final de cada sessão de normalização.

Após a implementação dos 5S na área produtiva verificou-se que se melhorou o ambiente e o bem-estar dos colaboradores pela facilidade com que se perceciona o lugar das coisas seguindo o princípio de uma *coisa no seu lugar e um lugar para cada coisa*. Foi o que se passou no caso da delimitação da área *Kanban Fow Board* onde, se inclui o quadro *Kanban*, o armário e o carro de apoio (Figura 77), também eles identificados. Delimitou-se o supermercado local para o THT, assim como as paletes da zona de embalamento (Figura 78) e a escada de apoio que passou a estar junto ao THT (Figura 79).

Figura 77 - Armário, quadro e carro de apoio ao Kanban Flow Board delimitados e identificados.

Figura 78 - Identificação e delimitação de paletes na zona de embalamento e supermercado local do THT.

Para além disso, a zona de refugo junto à segunda bancada de reparação que também possuía um carro de apoio cuja posição não estava delimitada e passou assim a estar (Figura 79). Foram ainda colocados os suportes de garrafa nos postos identificados que não os continham (Figura 80). As imagens seguintes mostram o resultado final destas intervenções.

Figura 79 - Delimitação e identificação de carro de apoio à reparação, zona de refugo e zona de arrumação de escada de apoio.

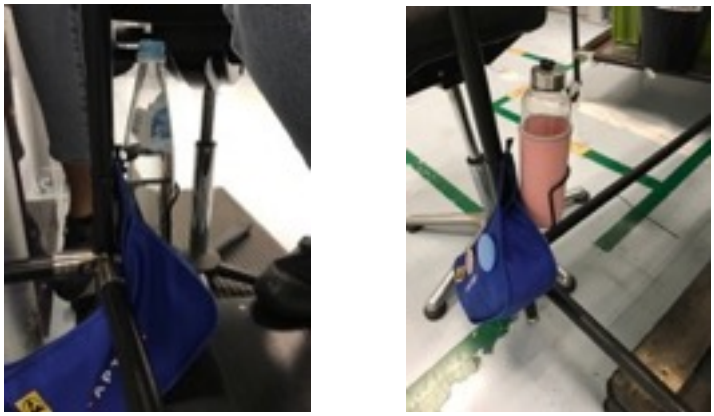


Figura 80 - Instalação de suportes de garrafas nos postos de Fuse Insertion e Embalamento.

5.1.6 Proposta de Gestão Visual de tabuleiros e novo procedimento

Após a introdução programada de tabuleiros de placas eletrónicas ser implementada para resolver o problema descrito na secção 4.2.7., verificou-se que estas representavam um risco para a integridade das placas, visto que estas poderiam estar numa posição desequilibrada podendo provocar a sua queda e, consequentemente, a sua perda de função. Deste modo, observaram-se os percursos dos tabuleiros para se identificarem as situações críticas onde o risco era maior.

Assim, o empilhamento acontecia na rampa de saída do posto de trabalho de limpeza das placas eletrónicas e a maior instabilidade ocorre no *conveyor* onde, por vezes, as colaboradoras empilhavam os tabuleiros com o conjunto de placas, acabando por provocar a situação descrita na secção 4.2.7..

Desta forma, propôs-se para a primeira situação, colocar uma fita branca vertical na parte frontal e posterior dos tabuleiros (Figura 81). Assim, visualmente era possível confirmar que os tabuleiros estavam corretamente empilhados ao formarem uma linha contínua vertical, o que não acontecia quando empilhados incorretamente (Figura 82). Para o *conveyor* propôs-se que se tornasse padrão não empilhar tabuleiros, de forma a evitar o desequilíbrio de tabuleiros e desincentivar o acumular de tabuleiros para empilhamento no *conveyor*.

Figura 81 - Proposta de Gestão Visual para correto empilhamento de tabuleiros na parte frontal e posterior, respetivamente da imagem esquerda para a da direita.

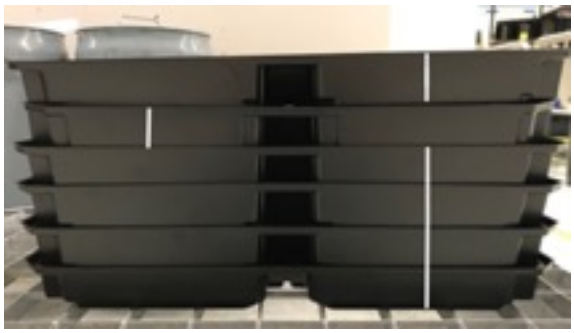


Figura 82 - Exemplo de como a proposta ajuda a identificar o correto empilhamento.

5.1.7 Projeto Lean Six Sigma – Refugo Press-Fit

Nesta secção é apresentado a etapa *Improve* do projeto Lean Six Sigma cujas primeiras etapas estão na secção 4.2.6. e última no capítulo 6 (*Control*).

5.1.7.1. Improve

Chegados às causas raiz e delineadas ações corretivas definidas na secção 4.2.6 para reduzir o refugo no *Press-Fit* surgiu a necessidade de preparar a sua implementação e priorizar as ações. Com vista a esse propósito foi elaborada uma matriz esforço-benefício onde as ações compiladas na Tabela 32 foram posicionadas conforme a expectativa de esforço e benefício que poderiam ter.

Tabela 32 - Compilação das ações corretivas para reduzir refugo no Press-fit.

	Ação Corretiva
A	Reformular Instrução de Trabalho
B	Marcação do lugar da placa na base intermédia entre press-fits
C	Colocação de uma base à altura da gaveta entre press-fits do mesmo conjunto
D	Desbaste de chanfros
E	Colocação de base metálica nas gavetas do PF1 e PF3
F	Colocação de borrachas protetoras
G	Definição de um plano de formação específico para o Press-Fit
H	Quality Alert
I	Substituição de gaiola de esferas no PF3.
J	Substituição de pinos de fixação no PF4 - base Eletrónica.
K	Substituição de pinos de fixação no PF4 - base Power.

Para isso, a equipa reuniu-se e num brainstorming e priorizou as ações de acordo com essa matriz apresentada na (Figura 83).

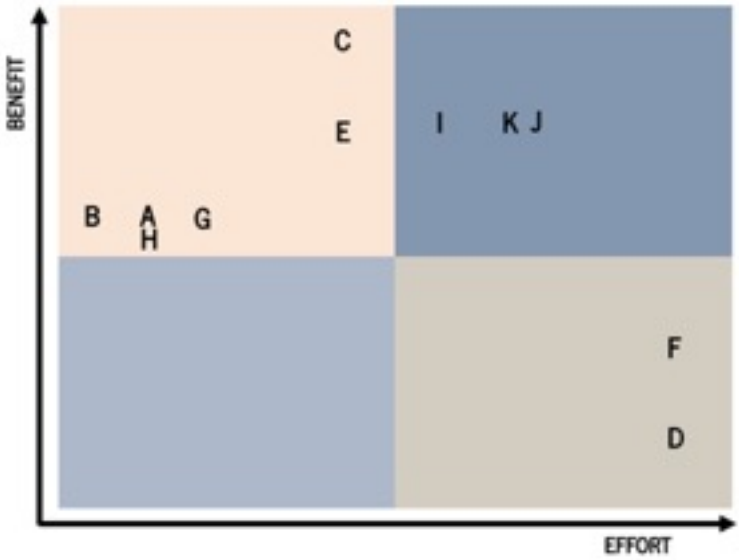


Figura 83 - Matriz Esforço-Benefício das ações corretivas de reduzir refugo no Press-fit.

Em primeiro lugar determinou-se que a colocação de uma base à altura da gaveta entre os *Press-Fits* seria a medida que em termos de esforço situar-se-ia numa posição próxima do intermédio, visto que o departamento de serralharia se encontrava disponível e com material pronto para a executar, sendo a sua instalação também de fácil execução, enquanto que em termos de benefício era a que poderia oferecer mais ao contrariar o movimento incorreto causador da prejudicial rotação da placa.

De seguida, a base metálica nas gavetas possuía um esforço intermédio pela mesma razão que a ação anterior, mas possuía como benefício imediato proteger a placa e até os mecanismos eletrónicos de poderem danificar e serem danificados pela placa *power* e seus conectores. Em terceiro lugar, situou-se

a marcação da posição central da placa na base intermédia a instalar para que a placa não se aproximasse das extremidades da base. Apesar de possuir menor benefício a longo prazo apresentava um esforço quase desprezável, pois obtinha-se a partir da colocação de uma fita já à disposição.

Em relação às restantes ações, algumas delas que diziam respeito a ações técnicas da manutenção, por exemplo, a substituição da gaiola de esperas e os pinos, apesar de gerarem um benefício elevado exigiam mais esforço, pois era necessário encomendar material e interromper a produção para poderem ser implementadas, exigindo um nível superior de planeamento e implementação.

Avançando para as ações que se encontravam em último lugar, como o desbaste de chanfros e a colocação de borrachas protetoras, estas foram classificadas como de elevado esforço e baixo benefício pelo facto de que a primeira exigia minucia e trabalho técnico com ferramentas específicas, para além do tempo de execução que se antecipava, também ele, elevado e a segunda por exigir um material fora dos parâmetros atualmente disponíveis na fábrica. Este material seria material de descarga electroestática (*Electrostatic discharge* - ESD) e que se em contacto com o batimento da placa não gerasse resíduos como geravam os materiais à disposição e já colocados. Por esses motivos foram posicionados em último lugar na matriz de esforço-benefício.

Através da aplicação da matriz de esforço-benefício foi possível formar um ranking final com a prioridade de implementação de ações às quais se atribuíram responsáveis e datas para a sua execução. Assim, formou-se o plano de ações que consta da Tabela 33 e onde se pode ainda observar que foram todas implementadas pelo facto de o *status* se encontrar a verde.

Tabela 33 - Plano de ações final e sua execução.

No.	Ação	Quem	Quando	Status
1	Colocação de uma base à altura da gaveta	Nuno Bastos	CW29.20	
2	Colocação de base metálica nas gavetas do PF1 e PF3	Equipa de Manutenção	CW30.20	
3	Marcação do lugar da placa na base intermédia entre press-fits	Nuno Bastos	CW34.20	
4	Reformular Instrução de Trabalho	Nuno Bastos	CW35.20	
5	Quality Alert		CW35.20	
6	Definição de um plano de formação especifico para o Press-Fit	Nuno Bastos	CW35.20	
7	Substituição de gaiola de esferas no PF3.	Equipa de Manutenção	CW35.20	
8	Substituição de pinos de fixação no PF4 - base Eletrónica.	Equipa de Manutenção	CW36.20	
9	Substituição de pinos de fixação no PF4 - base Power.	Equipa de Manutenção	CW35.20	

Na Figura 84 é possível comparar o antes e depois da implementação da base intermédia em altura com a marcação do lugar de pouso central da placa (ação 1).

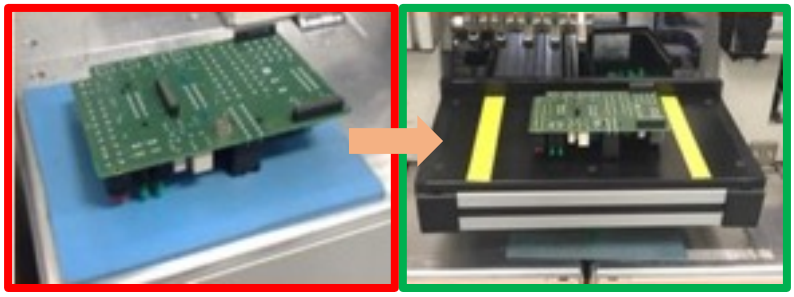


Figura 84 - Antes e depois da implementação da base intermédia em altura.

A Figura 85 mostra ainda a instalação da base metálica (ação 2).

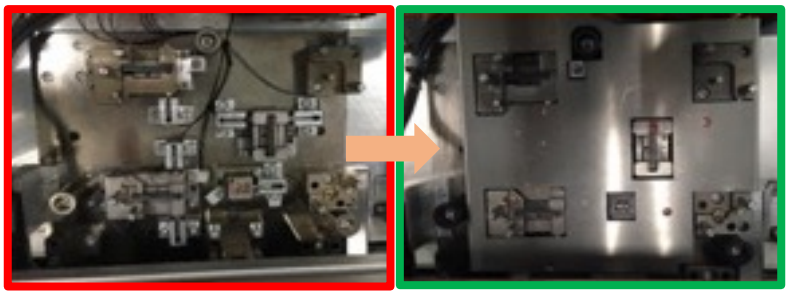


Figura 85 - Antes e depois da instalação da base metálica.

A colocação do alerta de qualidade (ação 5) foi colocado junto dos postos de trabalho, conforme fica evidênciado pela Figura 86. Essa ação permitiu ainda reforçar a alteração do procedimento de formação onde a cada colaborador foi dado a instrução para consulta, foi explicado o procedimento e simulado junto do responsável de linha como garantia do cumprimento da nova instrução de trabalho (ação 4 e 6).

Figura 86 - Colocação do alerta de qualidade.

No Apêndice XI encontra-se um A3 que resume este projeto, incluindo os resultados que serão apresentados no capítulo 6.

5.1.8 Soluções para melhoria de bordo de linha

Em termos de resposta às necessidades de melhoria do bordo de linha, identificadas na secção 4.2.8. do capítulo anterior foi chamada a equipa de engenharia industrial e a equipa de serralharia para que

que se validassem as necessidades e se dessem início aos trabalhos necessários. Assim, ficou estabelecido que se iriam construir as bases de suporte para os *Press-Fits* em material apropriado bem como as bases individuais para os *Functional Tests*.

Para o primeiro caso tomaram-se como referência as bases existentes nas saídas das rampas e para os FT o tamanho individual de um modulo com dois centímetros de margem. Estabeleceu-se que para a inversão do sentido da rampa seria apenas necessário baixar um lado e subir o outro, não havendo, mais dificuldades inerentes á mudança. Estabeleceu-se que para proceder á separação da gaveta de recolha dos tubos da THT seria necessário criar uma nova caixa aberta onde se teria de rebitar um excesso de material resultante da construção da gaveta para proceder à divisão em questão e que se encontraria disponível no armazém do respetivo departamento o material necessário.

Neste seguimento, efetivamente conseguiram-se implementar todas as soluções para as necessidades encontradas. No caso da gaveta para uma secção do THT foi criado um compartimento metálico com uma divisão para que os tubos possam ser separados mal sejam ejetados da máquina para que possam ser reutilizados futuramente, facilitando o trabalho do operador de recolha de resíduos industriais. O resultado final pode ser observado na Figura 87.

Figura 87 - Gaveta tubos em alumínio com divisão.

Em relação à necessidade de bases de apoio para a colocação de módulos suspeitos que deviam seguir para análise nos equipamentos de FT, o departamento de serralharia da empresa desenvolveu umas bases da dimensão de um módulo para que cada equipamento pudesse ter um espaço próprio para o efeito. A sua colocação pode ser observada na Figura 88.

Figura 88 - Functional Tests com base para colocação de material para análise.

A Figura 89 mostra que também foram concebidas bases de apoio nos *Press-Fits* que servem para colocação de um tabuleiro para colocação de material para análise quando existe suspeita de deformação ou anomalia técnica.

Figura 89 - Base para material para análise nos Press-Fits.

Por fim, como resposta às manifestações de desconforto ergonómico no posto de embalamento e como resultado da avaliação ergonómica efetuada procedeu-se ao reajuste da rampa de forma a que a colaboradora chegasse para si a caixa vazia e apenas a empurrasse para a frente cheia. Conforme foi possível concluir pela avaliação ergonómica do resultado final elaborado inicialmente (secção 4.2.8.), a alteração estrutural da rampa representada pela Figura 90 já não representava um perigo ergonómico para nenhuma colaboradora.

Figura 90 - Troca de sentido na rampa no posto de embalamento.

5.2 Proposta de ajustamento a nova procura

Como forma de responder a uma nova procura por parte do cliente a empresa necessitou de proceder a uma análise com vista a determinar que ajustamentos seriam necessários efetuar, quer ao nível de equipamentos, quer de *layout* e melhorias.

Deste modo, a procura que antes se situava nas 30000 unidades por semana, passaram a 28000 unidades por semana, o que significava uma redução de 6000 unidades por dia para 5600 unidades por dia. Significava, portanto, que o TT passou de 13 segundos para 14 segundos, de acordo com os cálculos que constam da Tabela 34.

Tabela 34 - Cálculo do novo Takt-Time para procura de 5600 módulos por semana.

Cálculo Novo TT	
Procura Diária	5600
Tempo Disponível por Turno (min)	457
Número de Turnos	3
OE	95%
Tempo Disponível	78147
Takt-Time	**14,0**

Esta diminuição da procura implicou alterações no número de equipamentos, na integração de postos, na proposta de reajustes aos equipamentos e nova rota logística. Estas alterações são explicadas de seguida.

5.2.1 Ajuste no número de equipamentos

No seguimento do exposto anteriormente tornou-se necessário analisar a capacidade dos postos de trabalho atuais de maneira a estudar a hipótese de redução de equipamentos de modo a retirar, na medida do possível, excesso de capacidade que ficaria subaproveitada e desajustada aos novos níveis de procura.

Assim, começou-se por elaborar um gráfico de capacidade atual em contraposição com o novo volume de produção (Figura 91), para identificar quais os equipamentos que possuíam excesso de capacidade e a possibilidade de serem retirados alguns.

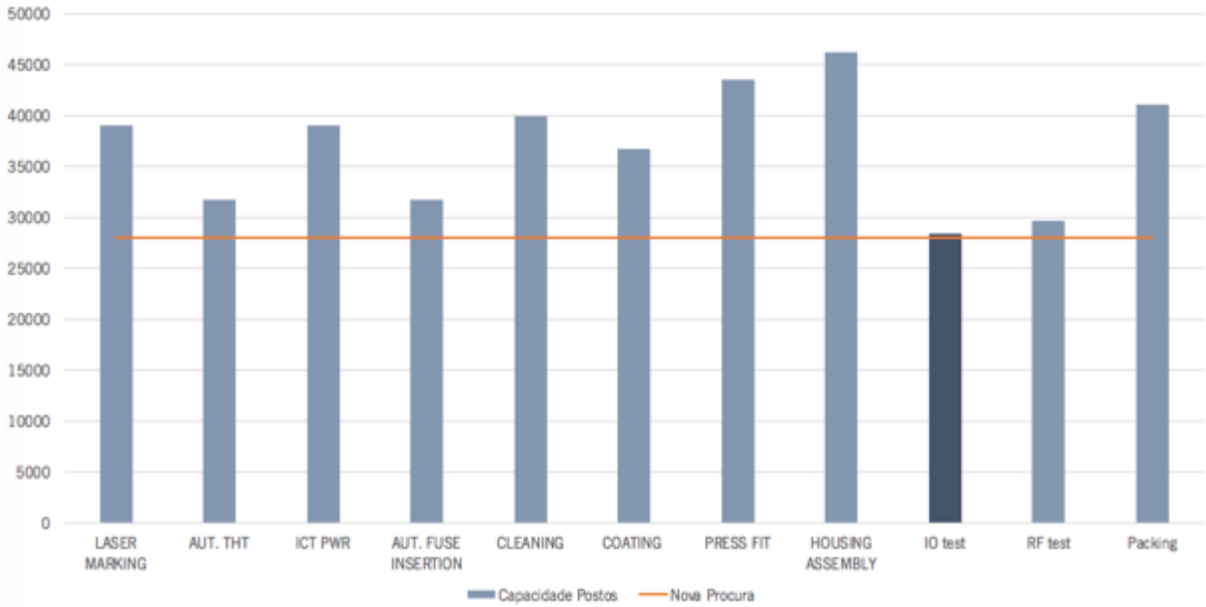


Figura 91 - Capacidade atual dos postos em quantidade de módulos vs nova procura.

Analisando a Figura 91 percebe-se que todos os postos apresentavam um excesso de capacidade, conforme seria de esperar, sendo que a capacidade do sistema fica limitada pelos FT (também designados de *IO test*, de acordo com o gráfico em análise, assinalado a azul escuro) com uma capacidade de 28412 módulos, sendo que os que possuem maior capacidade são os postos de *H&L*, os *Press-Fits*, a Limpeza, o Laser, o *ICT* e o *Coating* quando comparados com a linha de cor laranja que representava a nova procura (28000 unidades).

Contudo, dos postos mencionados apenas três puderam ser reconfigurados de modo a ajustarem-se à nova procura, sendo eles, os *Press-Fits*, o *Coating* e o *H&L*. No primeiro caso foi possível avaliar a possibilidade de retirada de um par de *Press-fit,* uma vez que se possuía um total de três pares. No segundo caso existia a hipótese de testar a retirada de um posto de *Coating Stand Alone,* visto que este posto era constituído por duas máquinas independentes, ambas com um tempo de ciclo mais elevado que o *Coating Line*, conforme mencionado em capítulos anteriores e, no caso da etiquetagem e montagem final (*H&L*), pode-se avaliar a retirada da máquina automática entretanto colocada em funcionamento, sobrando a bancada manual existente e também em funcionamento.

Nesse sentido, procedeu-se à respetiva simulação cujo resultado dos cálculos (Apêndice III) efetuados se encontram na Figura 92.

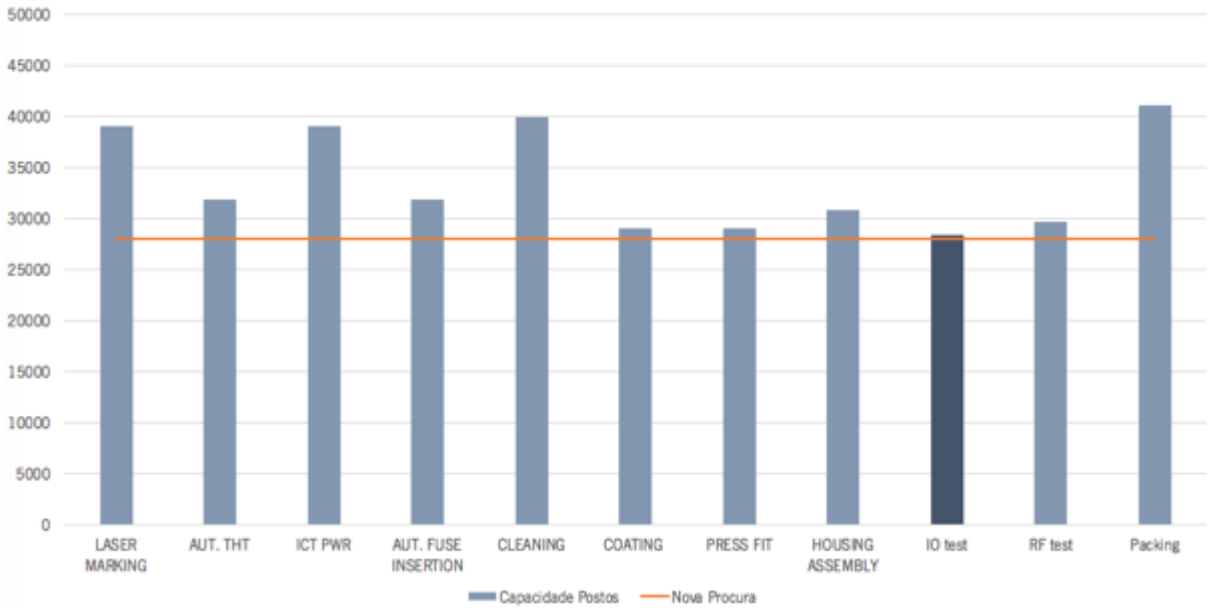


Figura 92 - Gráfico da simulação de capacidade dos postos em quantidade de módulos pela retirada de equipamentos vs nova procura

Da mesma Figura 92 conclui-se que o sistema apresentaria capacidade para cumprir com a nova procura efetuando as remoções de equipamento atrás mencionadas.

Porém, como forma de preparar esta execução estudou-se também a forma como se iria escolher que equipamentos remover, ou seja, qual dos pares de *Press-Fits* se removeriam, bem como para o *Coating SA*. Para isso, estipulou-se que o critério de escolha se basearia no número de falhas e avarias para o caso do *Press-Fit* e de avarias para o *Coating SA*. O motivo pelo qual os critérios são diferentes está relacionado com o facto de no *Coating SA* não haver o registo automático das falhas, mas apenas das avarias.

Para os *Press-Fits* reuniram-se os dados de seis semanas, compreendendo os meses de Janeiro e Fevereiro cujos resultados podem ser observados na Figura 93.

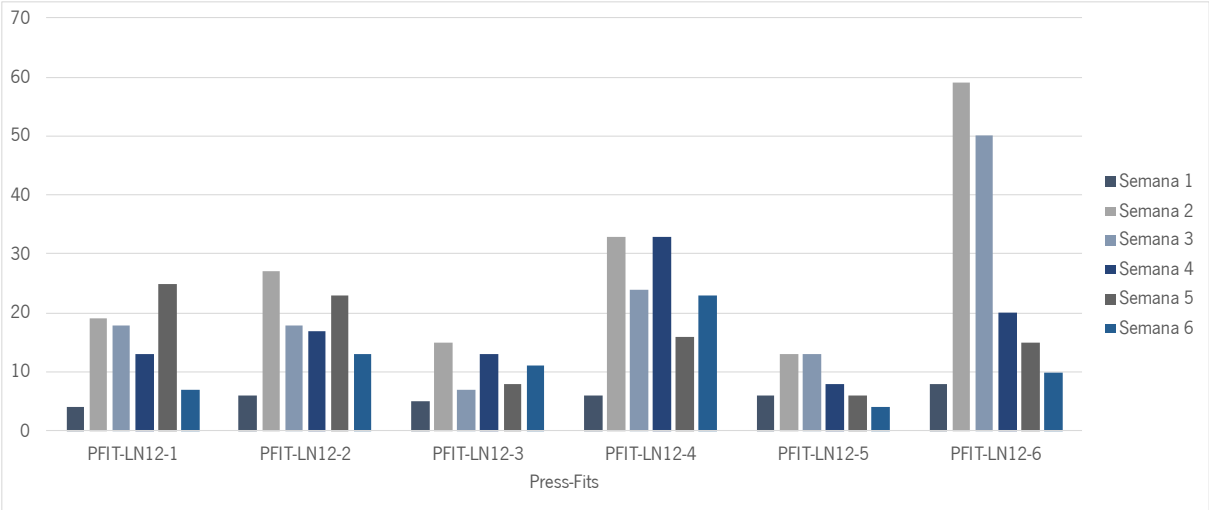


Figura 93 - Registo de falhas (unidades) nos Press-Fits.

Como é possível observar, o *Press-Fit* que reúnia maior número de falhas era o *Press-Fit* número 6 com um total de 162 falhas. A partir desta conclusão o par *Press-Fit* 6 e 5 deviam ser os removidos visto perfazerem um total de 212 falhas em contraste com as 190 falhas do par *Press-Fit* 1 e 2 e 194 falhas do par *Press-Fit* 3 e 4, permanecendo estes dois últimos, respetivamente, em funcionamento.

Relativamente às avarias estas foram recolhidas considerando o mesmo período de tempo e a Tabela 35 volta a destacar o mesmo *Press-Fit* como o mais problemático com 28 avarias no mesmo período de tempo perfazendo 34 avarias no par. Veio, por isso, confirmar a decisão de se remover este par de equipamentos permanecendo aqueles que registaram menos falhas e avarias.

Tabela 35 - Número total de avarias nos Press-Fits.

Press-Fit	Jan	Fev	Total
PFIT-LN12-6	**28**	**0**	**28**
PFIT-LN12-5	6	0	6
PFIT-LN12-4	3	0	3
PFIT-LN12-3	8	3	11
PFIT-LN12-2	7	1	8
PFIT-LN12-1	16	0	16

Chegados ao ponto em que estava determinado qual o par de *Press-Fit* a retirar, o mesmo género de análise foi necessário para o *Coating SA*.

Para esse efeito, recorreu-se, uma vez mais, aos registos de avarias durante o mês de Janeiro e Fevereiro obtendo-se os resultados da Tabela 36.

Tabela 36 - Número total de avarias nos Coating Stand Alone.

Coating AS	Jan	Fev	Total
EC-COAT-008	22	19	**41**
EC-COAT-007	12	18	30

A partir desses registos conclui-se que a retirar devia ser selecionado o *Coating SA* número 8 por possuir o maior número de avarias – 41.

5.2.2 Integração ICT+Fuse Insertion

No seguimento desta restruturação foi lançado o desafio de se avaliar a possibilidade de integração de dois postos de trabalho, uma vez que pela observação do *ICT* e da *Fuse Insertion*, estes aparentavam possuir tempos de intervalo que perspetivam a possibilidade de intercalação de atividades de modo a um colaborador poder operar os dois postos simultaneamente, permitindo a poupança futura de um colaborador.

Nesse sentido, procedeu-se a um estudo mais detalhado de maneira a confirmar ou refutar essa hipótese, tendo-se iniciado uma recolha de dados primária como forma a traduzir a observação em números que pudessem servir de referência, também para a construção do modelo padrão usado pela empresa aquando do estudo e conceção de postos de trabalho, a *Work Combination Table* (WCT). Os dados que constam da Tabela 37 permitem comparar os dois postos em questão. O que se pretendia aferir era o tempo morto e de trabalho nos dois postos de trabalho para que, intercalados fosse possível perceber se era ou não pertinente avançar para o estudo mais detalhado desta proposta de integração.

Tabela 37 - Tempos de trabalho e espera do ICT e da Fuse Insertion.

	ICT	Fuse Insertion
T. Efetivo	5	9,8
T. Morto	4,9	9,8

Assim, a Tabela 37 mostra o tempo morto dos dois postos (Apêndice VII), bem como os seus tempos efetivos de trabalho (T. Manual) retirados a partir da sua observação, que nos permite concluir que no tempo morto da *Fuse Insertion* cabe, apenas excedido por 0,1 segundos, um ciclo do ICT, que produz uma placa. Não obstante, este facto não impediu que fosse estudado de que forma esta junção pudesse acontecer, pois no tempo morto da FI cabia o tempo efetivo de trabalho do ICT e apenas era excedido em 4,9 segundos o trabalho manual da FI quando usado aquando do tempo morto do ICT. Por este motivo simulou-se, através da *Work Combination Table* (Figura 94), de que forma esta integração poderia ocorrer e quais os impactos previstos no tempo de ciclo.

APTIV

Work Combination Table

Project: **Date:**

Line Name/Process Name:

Max Operator Cycle Time:	30 sec / 1 piece(s)	Takt Time (TT):	30 sec / 1 piece(s)
Number of Pieces per Cycle:	1 pc/cycle	Design Cycle Time (ATT):	30 sec / 1 piece(s)

Manual Work · Machine Time · Walking · Waiting

Task ID	Work Elements	# of Motions (Optional)	Manual Work	Machine Element Time	Walk Time	Forced Wait for	Op #	Operator Clock (Stop Time)
1	Pressionar botão verde para avançar palete	2	1,2				1	1,2
2	Aguardar avanço da palete			9,8			1	1,2
3	ICT Pegar na placa 1 do tabuleiro	2	1,2				4	2,4
4	Colocar placa 1 no ICT 1	2	1,2				4	3,6
5	Fechar a tampa	2	1,2				4	4,8
6	Tempo ICT 1			5,5			4	4,8
7	Pegar na placa 2 do tabuleiro	2	1,2				4	6,0
8	Colocar placa 2 no ICT 2	2	1,2				4	7,2
9	Fechar tampa	2	1,2				4	8,4
10	Abrir tampa do ICT 1	2	1,2				4	11,5
11	Tempo ICT 2			5,5			4	11,5
12	Colocar a placa 1 no buffer intermédio	2	1,2				4	12,7
13	Abrir a tampa do ICT 2	2	1,2				4	18,2
14	Colocar a placa 2 no buffer intermédio	2	1,2				4	19,4
15	Fuse Insertion rar placas da palete e colocar no blíster	4	2,4				4	21,8
16	Pegar na placa e ler com scanner	4	2,4				4	24,2
17	Inserir placa do lado direito da palete	2	1,2				4	25,4
18	Pegar na segunda placa e ler com scanner	4	2,4				4	27,8
19	Inserir Placa do lado esquerdo da palete	2	1,2				4	29,0
20	Pressionar botão verde para avançar palete	2	1,2				4	**30,2**
	Total Times:	24	24,0					
	1 Cycle:	**29**						
	Cycle per unit:	**14,5**						

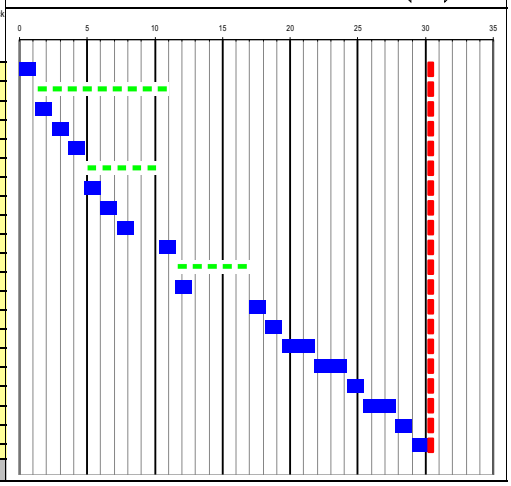


Figura 94 - Work Combination Table da Integração entre ICT e FI considerando o seu funcionamento atual.

Assim, a Figura 94 mostra que o tempo de ciclo destes dois postos operados de forma integrada e por um colaborador possuiria um tempo de ciclo de 14,5 segundos o que não era compatível com o novo *Takt-Time* (14 segundos).

O facto que poderia mudar esta situação prendia-se com o funcionamento do ICT. Recordando, este posto era constituído por uma máquina com duas bases em que cada uma possuía a sua tampa descrita na secção 4.1.3.. Uma vez que partilhavam o mesmo sistema interno, uma base só começaria a trabalhar quando a outra terminasse e a sua tampa fosse aberta. Significava, por isso, que só após a operadora abrir a tampa da base que terminava é que a outra base começava a trabalhar.

A forma de a operadora reconhecer que terminou o processamento de uma base era através da sinalização do ecrã que aparecia a verde e pela ligeira subida que a base efetuava face ao período em que se encontrava a processar. O ideal seria as duas bases poderem trabalhar simultaneamente. Contudo, por questões técnicas que envolviam os recursos inerentes ao funcionamento do equipamento, tal alteração não foi possível de realizar. Assim sendo, propôs-se estudar a viabilidade de proceder à integração dos postos considerando que a abertura das bases ocorresse de forma automática permitindo que a outra base iniciasse o seu processamento assim que a outra acabe.

Deste modo, a Figura 95, também presente no Apêndice VII representa a WCT da integração dos processos assumindo a condição de funcionamento anteriormente referida em dois ciclos. Através dela, foi possível constatar que o tempo de um ciclo de continuidade (ou seja, sem considerar o primeiro ciclo de iniciação) situar-se-ia próximo dos 10 segundos (10,3 segundos) o que validava a proposta e permitiu entrar em contacto com o fornecedor de forma a obter da parte deles a confirmação da exequibilidade da presente proposta.

APTIV

Work Combination Table

Project: Date:

Line Name/Process Name:

Max Operator Cycle Time:	48 sec / 1 piece(s)	Takt Time (TT):	48 sec / 1 piece(s)
Number of Pieces per Cycle:	1 pc/cycle	Design Cycle Time (ATT):	48 sec / 1 piece(s)

Manual Work · Machine Time · Walking · Waiting

Task ID	Work Elements	# of Motions (Optional)	Manual Work	Machine Element Time	Walk Time	Forced Wait for	Op #	Operator Clock (Stop Time)
1	ICT							
2	Retirar placas do ICT e colocar no buffer intermédio	4	2,4				4	2,4
3	Pegar nas placas do tabuleiro	2	1,2				4	3,6
4	Colocar as placas no ICT	3	1,8				4	5,4
5	Fechar as tampas	3	1,8				4	7,2
6	Tempo ICT direita			5,5			4	7,2
7	Tempo ICT esquerda			5,5			4	12,7
8	Fuse Insertion						4	12,7
9	Retirar 2 placas da palete e colocar no blister	4	2,4				4	9,6
10	Pegar na placa do buffer intermédio e lê com scanner	4	2,4				4	12,0
11	Insere placa do lado direito da palete	2	1,2				4	13,2
12	Pega na segunda placa e lê com scanner	4	2,4				4	15,6
13	Inserir Placa do lado esquerdo da palete	2	1,2				4	16,8
14	Pressionar botão verde para avançar palete	2	1,2				4	18,0
15	Aguardar avanço da palete			9,8			4	18,0
16	ICT						4	18,0
17	Retirar placas do ICT e colocar no buffer intermédio	4	2,4				4	20,6
18	Pegar nas placas do tabuleiro	2	1,2				4	21,8
19	Colocar as placas no ICT	3	1,8				4	23,6
20	Fechar as tampas	3	1,8				4	25,4
21	Tempo ICT direita			5,5			4	25,4
22	Tempo ICT esquerda			5,5			4	30,9
23	Fuse Insertion						4	30,9
24	Retirar 2 placas da palete e colocar no blister	4	2,4				4	30,2
25	Pegar na placa do buffer intermédio e lê com scanner	4	2,4				4	32,6
26	Insere placa do lado direito da palete	2	1,2				4	33,8
27	Pega na segunda placa e lê com scanner	4	2,4				4	36,2
28	Inserir Placa do lado esquerdo da palete	2	1,2				4	37,4
29	Pressionar botão verde para avançar palete	2	1,2				4	38,6
30	Aguardar avanço da palete			9,8			4	38,6
	Total Times:	36	36,0					

1 Cycle: 20,6

Cycle per unit: 10,3

Figura 95 - Work Combination Table da Integração entre ICT e FI considerando o seu funcionamento futuro.

Segundo o fornecedor do equipamento, seria possível iniciar o processamento de uma base mal a outra terminasse o seu processamento ao introduzir um solenoide que procedesse à abertura automática da base aquando do seu fim de processamento.

Como resultado destas conclusões, fez-se a proposta de integração ao nível da disposição destes dois postos de trabalho (Figura 96). O ICT situava-se do lado esquerdo da *Fuse Insertion*, em frente à THT, mas uma vez que a *Fuse Insertion* apresentava maiores dificuldades de posicionamento dadas as suas grandes dimensões o ICT passaria a ficar ao lado do atual posto da *Fuse Insertion,* perpendicularmente, para que os colaboradores pudessem operar os dois equipamentos num ângulo de 90 graus.

Para que as rampas de entrada e saída ocupassem o menor espaço possível e não obrigassem a maiores movimentações estas devem situar-se entre estes dois postos de trabalho sendo que seria constituída por duas sub-rampas incluídas numa só: uma de entrada e saída. A de entrada situar-se-ia junto do ICT e a de saída junto à *Fuse Insertion*.

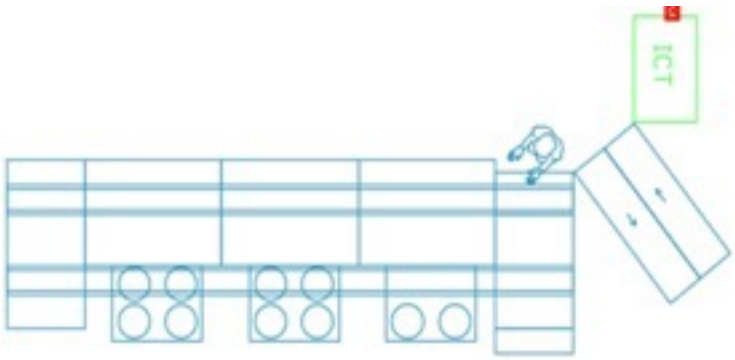


Figura 96 - Proposta de Layout para a Integração do ICT com a Fuse Insertion.

5.2.3 Proposta de "Nova Prensa"

A proposta de uma nova prensa veio no seguimento do facto de ter sido introduzida uma nova máquina que procedia à prensagem e verificação automática para a qual foi necessária uma nova instrução de trabalho, como referido no capítulo anterior na secção 4.2.4..

No entanto, aconteceu que este equipamento desde que entrou em funcionamento não cumpria com os requisitos operacionais pelo que, provisoriamente, foi colocada de lado para resolução dos seus problemas. No entretanto, a colaboradora que se ocuparia desta máquina passou a trabalhar na bancada do posto manual juntamente com a sua colega, tendo-se verificado que trabalhando em pares o tempo de ciclo não sairia prejudicado, ficando até muito próximo dos 10,1 segundos medidos aquando do diagnóstico da área produtiva, cerca de 9,31 segundos, de acordo com a Tabela 38.

Tabela 38 - Tempo de Ciclo posto H&L com duas colaboradoras.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de Ciclo (seg)	11,3	9,2	8,3	9,1	8,2	8,3	10,5	8,9	7,2	12,0	9,3

Por este motivo foi também identificada uma oportunidade de avaliação acerca da possibilidade de melhorar este posto de trabalho de forma a conseguir, também, laborar apenas com uma colaboradora. Para isso elaborou-se um gráfico *Yamazummi*. Este gráfico (Figura 97) auxiliou na identificação das tarefas executadas que acrescentavam e não acrescentavam valor, ao mesmo tempo que visualmente ajudaram a entender a sua proporção e efeito no tempo de ciclo.

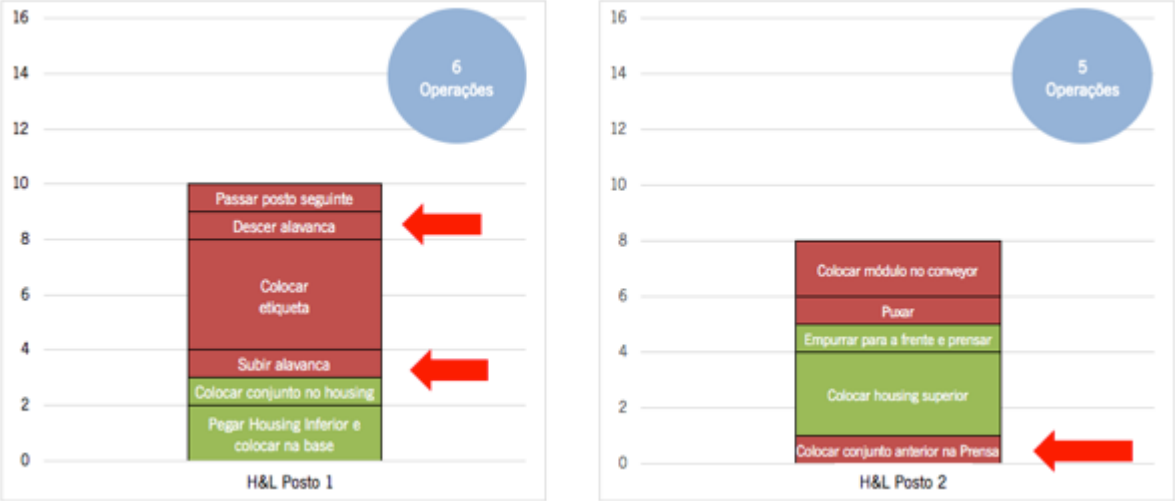


Figura 97 - Yamazumi H&L (em segundos).

Pela Figura 97 é possível constatar que no seu conjunto apenas quatro operações foram classificadas como "acrescentam valor" num total de 11 operações.

A proposta segue no sentido de as operações assinaladas com a seta encarnada deixarem de ser executadas ao propor uma adaptação do último equipamento manual usado para efetuar as operações no posto dois do *Housing & Labelling*. Esta adaptação visou proceder à colocação dos *housings* e o conjunto formado pelas duas placas, bem como a sua etiquetagem. A gaveta usada para colocação do conjunto com o *housing* inferior e o *housing* superior seguida da prensagem poderia ser usada para ser colocado diretamente o *housing* inferior e o conjunto de placas, desde que possuísse um *scanner* que fizesse a leitura da placa.

Ao colocar uma base estrutural móvel que possibilitasse a sua subida, conforme o primeiro equipamento, permitiria posicionar o *housing* inferior numa posição semelhante à atual que facilitaria a etiquetagem. Descendo-o, colocar-se-ia o *housing* superior e à medida que se fechava a gaveta, ao invés de ter de se descer a alavanca para prensar os *housings*, através de um sistema de roldanas externas a prensa acompanharia o movimento de fecho da gaveta, sendo que quando este atingisse o fim de curso a prensa já teria cumprido a sua função, subindo à medida que a gaveta era puxada de volta. A Figura 98 mostra o conjunto final de operações e a expectativa de duração dada a descrição efetuada.

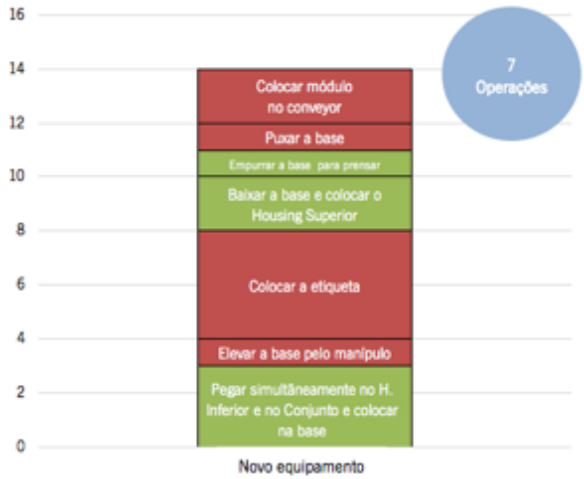


Figura 98 - Yamazumi de operações e tempos (segundos) previstos a partir do novo equipamento.

A partir do *Yamazumi* (Figura 98) é possível retirar que o conjunto de operações passaria de 11 para sete onde apenas quatro constituiriam desperdício, mas com a vantagem de em 14 segundos se obter um módulo montado. Apesar de o TC ser igual ao TT, devia-se ter em conta que estes tempos constituíam estimativas, estando dependentes do funcionamento real do equipamento. Por esse motivo, ficaria definido futuramente estudar formas de o diminuir, por exemplo, passando a montagem do conjunto com o *housing* inferior para processos anteriores a este. Assim, o conjunto de placas e o *housing* inferior viriam já montados necessitando apenas da etiqueta, do *housing* superior e sua prensagem.

Destaque-se que esta proposta não incluiu um protótipo de como poderia ser o equipamento, mas traduziu uma ideia que poderia ser considerada para efeitos de desenvolvimento futuro. Pretendeu-se usar mecanismos conhecidos e já praticados, ao mesmo tempo que se aproveitavam equipamentos existentes, conferindo-lhes uma perspetiva de utilidade potencial que aportasse perspetivas de valor e utilidade futura.

Este exemplo configurava também uma contraposição pertinente face aos paradigmas existentes de uso intensivo da tecnologia dotando mecanismos fiáveis em termos funcionais e mecânicos de complexidade tecnológica e funcional que acabaria por deturpar o seu conceito inicial e a sua função mais básica, que foi o que aconteceu com a nova máquina automática que acabou de ser retirada ou inutilizada, tal a sua complexidade e necessidade de melhoramento para atingir os níveis de fiabilidade e utilização pelas colaboradoras dos equipamentos tradicionais.

5.2.4 Nova rota logística

Dadas as alterações até aqui propostas e tendo em conta o espaço que ficaria vago com as retiradas de equipamentos surgiu a oportunidade de atualizar e ajustar o *layout* na busca de mais melhorias. Para além das alterações de *layout* já apresentadas considerou-se a possibilidade de alterar a disposição do *Coating SA*, do Secador e da câmara de secagem, visto que o ICT, quando integrado com o *Fuse Insertion* deixaria de ocupar a área em frente à *Coating SA*. Assim, seria possível aproximar a Câmara (também designada de *buffer*) dos *Coating SA* e *Coating Line*, deixando de ser necessário o recurso ao operador logístico interno. Para além disso, o facto de a câmara se aproximar da área de *Coating* auxiliaria na extração dos cheiros provenientes da proteção colocada e tornaria o percurso da câmara de extração até aos *Press-Fits* mais direto e próximo.

Com essa alteração e como o ICT passaria a ser integrado com a Inserção de Fusíveis seria possível colocar o Laser no seu local antigo que ficaria desocupado. Desse modo libertaria a colaboradora da limpeza das funções de abastecimento da Laser e esta passaria a ser da responsabilidade do operador logístico.

De forma a ajustar a rota logística às novas necessidades e *layout*, recolheram-se as dimensões e capacidades das respetivas rampas de abastecimento dos vários postos de trabalho e calcularam-se os seus tempos de escoamento, cujo tempo mais reduzido ditaria o *takt-time* da rota logística e, sequencialmente, o seu percurso. A Tabela 39 representa o resultado desse *ranking* de acordo com os

tempos de escoamento dos postos de trabalho, configurando a rota logística futura cujos cálculos e tabelas completas podem ser consultados no Apêndice VIII.

Tabela 39 - Tempo de Ciclo das rampas dos postos de trabalho.

Rampa	TC/Rampa (min)	*Ranking*
Coating Line - Buffer	20	-
Coating SA - Buffer	56	-
Buffer - Press-Fit	15	2
Laser - THT	84	10
THT - ICT	8,1	1
F-Insertion - Press-Fit	40	7
THT 012 Fuse Block 9	17	3
THT 011 Relay EM1	23	5
THT 013 Header	25	6
THT 012 Fuse Block 4	50	8
THT 013 Relay	80	9
THT 011 Fuse 2-ato	125	11
Press-Fit Conectores	21	4

A partir da Tabela 39 conclui-se que o *takt-time* desta rota situa-se nos 8,1 minutos e significa, por isso, que a duração do circuito de abastecimento dos postos de trabalho não poderia ultrapassar esse valor. Para além disso, o *ranking* encontrado definiu que o circuito se iniciaria com o transporte de placas do THT para o ICT e terminaria com o abastecimento da THT 011. De modo a verificar a exequibilidade da rota proposta simulou-se o seu percurso de acordo com o indicado na Figura 99 que mostra, inclusive, a nova disposição do *Coating Stand Alone* e da integração transitória entre o ICT e a *Fuse Insertion*.

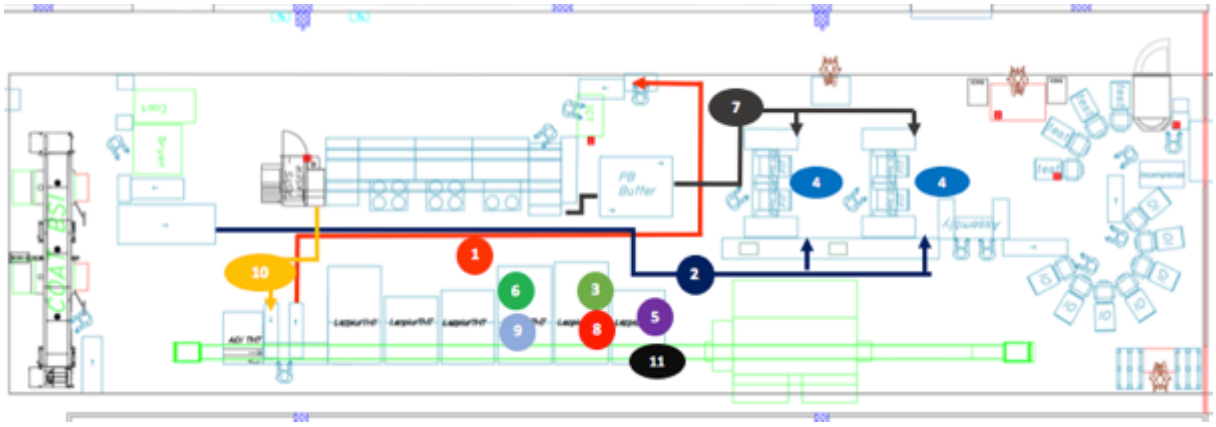


Figura 99 - Rota logística proposta.

Esta simulação consistiu em executar o circuito estabelecido nas condições reais de trabalho, tendo esta sido cronometrada e registados os tempos conforme se encontram na Tabela 40.

Tabela 40 - Tempos simulados para a proposta de nova rota logística.

Rampa	Tempo Circuito (seg.)
Coating Line> *Buffer*	-
Coating SA -> *Buffer*	
Buffer -> *Press-Fit*	351
Laser -> THT	5
THT -> ICT	22
F. Insertion -> *Press-Fit*	30
THT 012 *Fuse Block* 9	240
THT 011 *Relay* EM1	
THT 013 *Header*	
THT 012 *Fuse Block* 4	
THT 013 *Relay*	
THT 011 *Fuse 2-ato*	
Press-Fit Conectores	60
TT (min)	11,8

A partir da Tabela 40 mencionada concluiu-se que o tempo de execução da rota não se situava abaixo ou igual ao TT requerido. Por esse motivo, tornou-se necessário avaliar de que forma poderia ser diminuído o seu ciclo. Uma vez que a linha produtiva do produto "A" tinha dois operadores de máquina dedicados a prestarem assistência técnica e monitorização do desempenho dos equipamentos, analisou-se a possibilidade de estes poderem efetuar o abastecimento destas máquinas.

Para além disso, estes colaboradores já efetuavam o abastecimento das restantes secções da THT e, por isso, possuíam *Know-how* nesta tarefa que não era nova. Para essa análise registou-se, a partir da observação e cronometragem, o tempo de trabalho e repouso de um operador. Uma vez que o trabalho era variável conforme o desempenho dos equipamentos e das avarias suas falhas, estes tempos não transmitiam uma realidade constante pelo que estes podiam, num dia, enfrentar um dia calmo em termos de intervenções como o contrário.

Não obstante, da Tabela 41 concluiu-se que, em média, um operador passava 67 segundos sem conteúdo de trabalho seguido de 76 segundos a intervir. Tendo em consideração que existiam dois operadores de máquina e que em média o abastecimento de cada um dos THTs rondava os 40s, considerou-se viável que estes assumissem esta função.

Tabela 41 - Tempos de repouso (morto) e de trabalho de um operador de máquina.

	Tempo Morto (seg.)	Tempo Trabalho (seg.)
	137	66
	92	27
	37	7
	88	44,55
	23	70
	45	15,63
	71	88
	15	203
	124	96
	35	144
Tempo Médio	**67**	**76**

Para além disso, verifica-se pela Tabela 42 que eliminando esta tarefa a rota logística ficaria com uma duração que rondava os 7,8 minutos, abaixo dos 8,1 minutos requeridos pelo THT.

Tabela 42 - Novos tempos simulados para a proposta de nova rota logística.

Rampa	Tempo Circuito (seg.)
Coating Line-> *Buffer*	-
Coating SA -> Buffer	
Buffer -> *Press-Fit*	351
Laser -> THT	5
THT -> ICT	22
F-Insertion -> *Press-Fit*	30
Press-Fit Conectores	60
TT (min)	7,8

Assim, definiu-se a nova rota logística representada pela Figura 100.

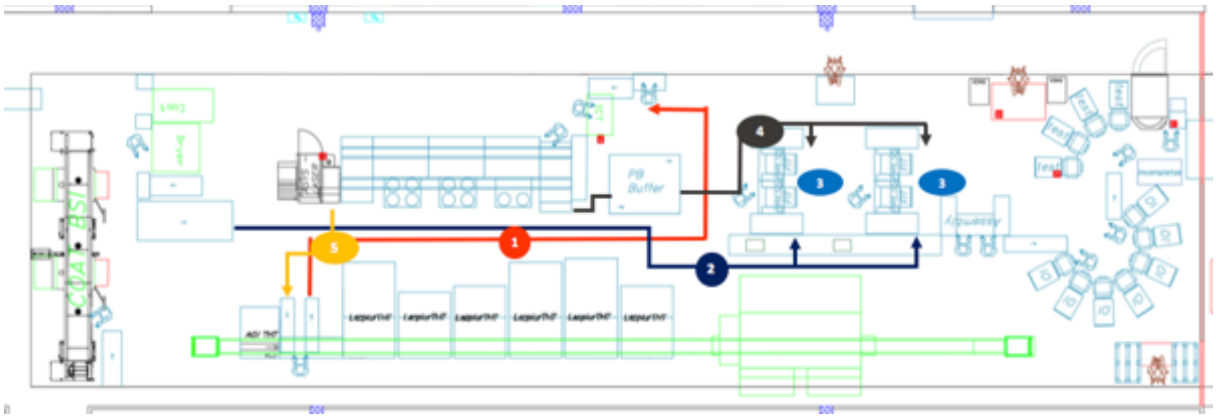


Figura 100 - Nova rota logística proposta.

5.3 Projeto de linha para novo produto

Este subcapítulo diz respeito à necessidade de projetar ou reconfigurar uma linha existente para o novo produto que deveria entrar em produção no final do presente ano de escrita desta dissertação. O facto de o produto ser semelhante ao produto "A" exigia que se fizesse a preparação da sua entrada em produção através da definição do seu *layout* e de que forma se faria a sua integração com a linha existente na identificação dos processos que são partilhados e o seu impacto. Nesse sentido foi seguida a metodologia de projeto e reconfiguração de sistemas de produção orientados ao produto, apresentada na secção 2.3..

5.3.1 Formação de famílias de produto - processo

A primeira fase consistiu no enquadramento do produto novo, doravante designado como produto "B", no leque de produtos produzidos pela empresa. Na Figura 101 é possível observar o quão semelhante é o produto "B" quando comparado com o produto "A", permitindo estabelecer assim uma relação posicionando-o na mesma família de produtos dos módulos eletrónicos. Tal indicava que, à partida, poderia ser possível avaliar, numa fase mais avançada, a possibilidade de partilha de operações numa perspetiva de aproveitamento de sinergias de processos.

Figura 101 - Placa Power, Eletrónica e Módulo final do Produto B, respetivamente da esquerda para a direita.

Este produto possuiria uma procura semanal de cerca de 500 módulos. Significava, por isso, que tendo em conta o tempo disponível de três turnos, cada um com 457 minutos, o *takt-time* situava-se nos 14 minutos por módulo, conforme mostra a Tabela 43.

Tabela 43 - Cálculo Takt-time do Produto "B".

Cálculo TT	
Procura Diária (módulos)	94
Tempo Disponível por Turno (min)	457
Número de Turnos	3
OE	95%
Tempo Disponível (seg)	78147
Takt-Time (seg)	831
Takt-Time (min)	14

Atendendo a este TT, não representaria um desafio de maior em termos de ritmo produtivo, tendo em conta que o volume do produto A é de 28000 módulo e que o produto "B" representava 1,7% do volume de produção do produto A.

5.3.2 Instanciação de células

A etapa instanciação de células diz respeito à fase de se conhecer o processo e determinar as suas necessidades de equipamentos. Para além disso, avaliar–se a possibilidade de partilha de alguns processos já existentes para o produto "A".

5.3.2.1. Processo do produto "B"

Focando-se no processo do produto "B", na Figura 102 encontra-se esquematizado a gama de processos para produção para este produto, que, como era esperado, possui processos idênticos aos usados para o produto "A".

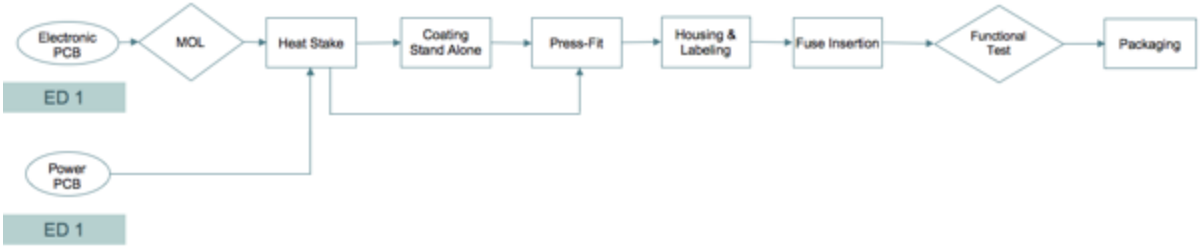


Figura 102 - Fluxograma de Processos do Produto "B".

De acordo com a Figura 102 o produto "B" seria, à semelhança da do produto "A", constituído por duas placas, uma *power* e uma eletrónica. Ambas tinham origem no edifício 1 do complexo fabril da Aptiv. No entanto, a placa eletrónica teria de sofrer um processo semelhante ao ICT, mas com outras especificidades que se designa por MOL, seguindo, depois, para o *Heat Stake*. Neste processo os pinos plásticos provenientes dos conectores que se encontram na placa são derretidos e espalmados de forma a protegerem os componentes das placas aquando da sua junção. Passada esta fase, seguiam para o

Coating onde as partes críticas da placa eram alvo de uma dispensação de *Coating*, uma espécie de verniz protetor de componentes eletrónicos contra a humidade. Seguiam depois para o *Press-Fit* onde se daria a junção com a placa *power*.

Por sua vez, a placa *Power* teria de passar pelo *Heat Stake*, seguindo depois para o *Press-Fit* para colocação dos conectores. Após este passo e as placas eletrónicas terminarem o *Coating,* as duas placas eram novamente prensadas no *Press-Fit,* a partir do qual seguiam juntas pelas próximas operações. São eles o *Housing & Labelling*, com funcionamento semelhante para o produto "A", a Inserção de Fusíveis (*Fuse Insertion*), o Teste Funcional (*Functional Test*) e o Embalamento (*Packing*).

5.3.2.2. Necessidades de equipamentos

Uma vez determinado o processo importa determinar as necessidades produtivas em termos de equipamentos e seu número para preparar, de seguida a avaliação de partilha e estudo de agrupamentos para se configurar esta nova linha de produção.

Da análise do processo ficou patente a necessidade de equipamentos que permitam proceder ao *Coating* das placas eletrónicas, de inserção de fusíveis, de teste de módulos e ainda de uma bancada para embalamento de placas.

Na Tabela 44 apresenta-se o resultado do cálculo do número de equipamentos necessários recorrendo à formula usada na secção 5.1.1.. Foram considerados os tempos de processamento previstos tendo em conta os processos já existentes e as estimativas dadas pelos fabricantes para o novo produto.

Tabela 44 - Número de equipamentos necessários.

Unidades	T. Processamento Previsto (segundos)	Nº Equipamentos
MOL	56	1
Heat Stake	22	1
Press-Fit	22,3	1
H&L	22	1
Coating Stand Alone	30	1
Fuse Insertion	20	1
Functional Test	140	1

Da análise da Tabela 44 verifica-se que tendo em conta o *takt-time* de 14 minutos um equipamento de cada tipo é suficiente.

5.3.2.3. Agrupamentos e possibilidades de partilha

De forma a agrupar as máquinas, usou-se o método *Direct Cluster Analysis* (DCA) referido na secção 2.3.2. que envolve a manipulação de matrizes a partir de um algoritmo considerando a totalidade dos processos. Esperava-se com esta análise obter uma referência de como teoricamente podiam ser agrupadas as diferentes máquinas do processo, podendo, eventualmente, serem avaliadas algumas possibilidades de partilha de equipamentos numa fase posterior. Por esse motivo, foram usados os equipamentos usados nos dois produtos produzidos, "A" e "B". Um dos equipamentos considerados era a CMI que faria parte do posto de *Packing* ao realizar de forma automática as inspeções visuais até então executadas pela colaboradora e cuja inclusão estava já prevista.

Assim, na Figura 103 constam duas interpretações possíveis para o resultado da aplicação do método DCA cujas iterações constam do Apêndice IX.

Interpretação A	Produto "A"	Produto "B"
Coating	1	1
Fuse Insertion	1	1
FT	1	1
Packing	1	1
CMI	1	1
MOL	1	1
Heat Stake		1
PressFit V		1
Etiquetagem V		1
Laser	1	
Limpeza	1	
THT	1	
ICT	1	
PressFit	1	
Etiquetagem	1	
RF	1	

Interpretação B	Produto "A"	Produto "B"
Coating	1	1
Fuse Insertion	1	1
FT	1	1
Packing	1	1
CMI	1	1
MOL	1	1
Heat Stake		1
PressFit V		1
Etiquetagem V		1
Laser	1	
Limpeza	1	
THT	1	
ICT	1	
PressFit	1	
Etiquetagem	1	
RF	1	

Figura 103 - Resultado da aplicação do método DCA.

A interpretação "A" remete para a criação de duas zonas representadas na figura pelas duas cores, sendo que fazia mais sentido a interpretação B que as separava em três células distintas conforme a dedicação e partilha face aos dois produtos. De acordo com essa interpretação os equipamentos partilhados por ambos os produtos deviam ficar agrupados e os restantes deviam agrupar-se por produto. Assim sendo, foi possível constatar que era necessário analisar a capacidade produtiva do MOL, do *Coating SA*, da *Fuse Insertion*, do *Functional Test* e do Embalamento (*Packing*), como forma de averiguar exequibilidade da partilha de equipamentos. A CMI não faz parte desta análise de capacidades uma vez que será concebida de raíz para acomodar a capacidade necessária. Os cálculos encontram-se na Tabela 45.

Tabela 45 - Cálculo de capacidades para o produto "B".

Process step	MOL	*Fuse Insertion*	*Coating Line*	*Coating Stand Alone*	*Functional Test*	*Packing*
TC 100%	56.0	11,0	17,0	47,0	91,2	9,0
Nº Equipamentos	5	1	1	1	7	1
OE	0.9	85%	90%	90%	90%	90%
Segundos por 5,33 dias disponíveis	370170	349605	362070	362070	370170	370170
Segundos por 6 dias disponíveis	419526	396219	410346	410346	419526	419526
			21298	7703		
Capacidade Semanal 5,33 dias	33051	31782	29002		28412	41130

Analisando a Tabela 45 é notória a capacidade existente para todos os processos com exceção do *Functional Test* que não possuía a capacidade necessária. Conforme foi mencionado anteriormente neste capítulo, foi proposta a aquisição de mais uma máquina de modo a garantir o cumprimento de capacidade e margem produtiva, inclusive para situações como esta que vão exigir 500 módulos adicionais. No entanto, a solução poderia passar por utilizar horas de almoço e horas extra.

5.3.2.4. Proposta de retirada de Heat-Stake para a placa Power

Aquando do recebimento de um protótipo do produto, e posterior simulação pelos equipamentos disponíveis na produção colocou-se a questão acerca da pertinência de as placas eletrónica e *power* terem de ser alvo de um processo de *Heat-Stake* . Este processo foi realizado tendo em vista dois objetivos: 1) a diminuição dos pinos plásticos dos conectores para que quando encaixados não embatam nas restantes placas e/ou nos *housings* que protegem o módulo; 2) necessidade de reforço da resistência dos conetores para que não se desprendessem da placa.

Assim sendo, foi averiguado acerca dos pressupostos desta operação com os departamentos indicados e constatou-se que à partida se destinariam a proteger as placas de colisão entre a placa *power* e eletrónica e entre a eletrónica e o *housing* inferior.

Através da Figura 104, que representa um desenho técnico da placa, é possível confirmar que, de facto, havia um conflito entre o pino da placa eletrónica e o *housing* inferior.

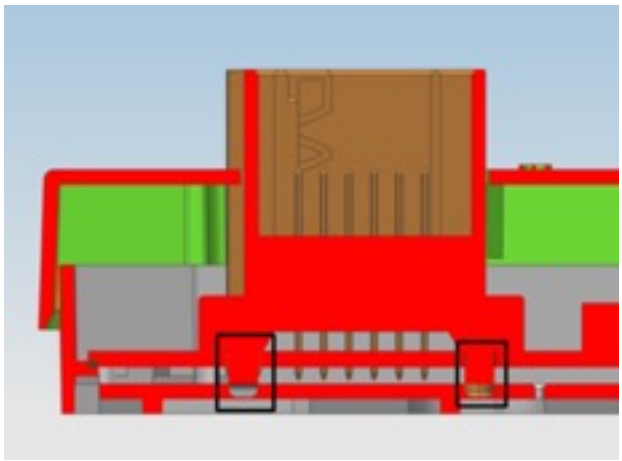


Figura 104 - Conflito entre placa eletrónica e housing inferior.

A partir da mesma observação do desenho técnico que, por motivos de confidencialidade não pode ser inteiramente incluído, verificou-se que para o caso da relação placa *power* e placa eletrónica, o mesmo não se verificou, como é possível observar na Figura 105.

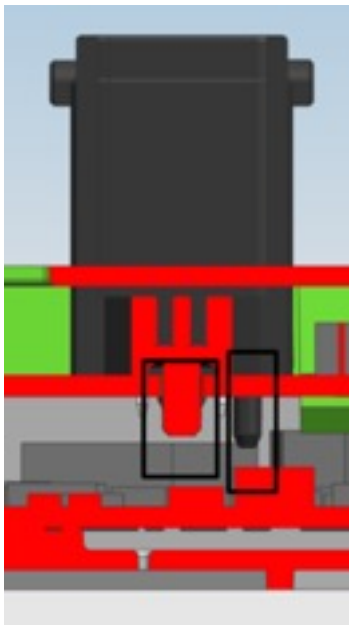


Figura 105 - Inexistência de conflito entre Placa eletrónica e placa power.

Contudo, de forma a confirmar realisticamente que não havia o conflito entre pinos da placa *power* e a placa eletrónica, foi efetuado uma observação transversal a um conjunto de placas sem *Heat-Stake*. O resultado pode ser consultado na Figura 106.

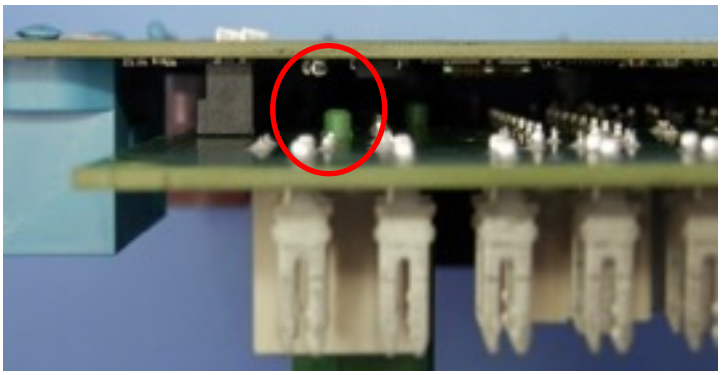


Figura 106 - Inexistência de conflitos entre as duas placas power e eletrónica sem Heat-Stake.

Através do círculo assinalado na Figura 106 confirma-se, por isso, que não havia colisão entre as duas placas nos pinos assinalados.

Para descartar a necessidade de ser alvo do *Heat-Stake* para reforçar o encaixe dos conectores nas placas foi também efetuado um teste de força na situação de remoção cujos resultados comprovaram a necessidade de grande força para os remover sem estarem cravados a quente, o que significava que para este efeito não era necessário proceder à cravação a quente das placas.

Propôs-se assim que esta operação na placa *Power* fosse retirada, eliminando assim, uma operação que não acrescentava valor e a necessidade de *changeover* de bases (conforme o tipo de placa).

5.3.3 Instanciação de postos de trabalho

Antes de se definir o modo operatório, primeiramente devia-se determinar o número ideal de trabalhadores, pois seria esse número que influenciaria a escolha do modo operatório mais adequado. Para esse efeito consideraram-se os tempos produtivos associados aos postos de trabalho (equipamentos) que funcionariam exclusivamente para o produto "B", visto que os restantes seriam operados pelas colaboradoras que compunham a equipa associada ao produto "A".

Assim, e considerando a soma dos tempos produtivos previstos a dividir pelo *takt-time (831 segundos)* do novo produto, seguiu-se a seguinte fórmula e cálculo:

$$Nº\ Colaboradores = \frac{22 + 22{,}3 + 22}{831} = 0{,}08\ \approx 1\ Colaborador$$

Ou seja, seria necessário apenas um colaborador para operar os três postos dedicados.

5.3.4 Organização intracelular e controlo

Esta secção apresenta várias subactividades realizadas no contexto da atividade organização intracelular e controlo, nomeadamente, a determinação do espaço necessário, o seu *layout*, o modo operatório, a definição e criação de folhas normalizadas de trabalho e ainda o dimensionamento de *buffers* produtivos.

5.3.4.1. Necessidades de espaço

A etapa seguinte, consiste na determinação de necessidades de espaço. Assim, na Tabela 46 encontram-se as necessidades de espaço de cada uma das máquinas que teriam de ser adicionadas, ou seja, que seriam as dedicadas. Isto acontecia porque os equipamentos partilhados não vão ser removidos ou realocados devido às suas dimensões. É o caso do *Coating*, da *Fuse Insertion* e dos FTs, bem como da zona de embalamento cuja localização tem de ser a mesma, independentemente do produto.

Tabela 46 - Necessidades de Espaço para o Produto "B".

Unidades	T. Processamento Previsto (segundos)	N° Equipamentos	Área (m²)	Área Necessária (m²)
MOL	56	5	2.1	10.5
Heat Stake	22	1	0.95	0.95
Press-Fit	22,30	1	0.8	0.8
H&L	22	1	2.58	2.58
			TOTAL	14.83
			Área Disp.	44.88

Analisando a Tabela 46 irão ser necessários cerca de 15 m² de área (arredondado por excesso) para acomodar os equipamentos dedicados à produção do produto "B", sendo que os que vão ocupar maior área são os 5 MOL que se encontravam no edifício 1 e que deveriam ser transferidos para o edifício 2. Uma vez que o tempo de processamento previsto indicado era por equipamento e este produto representava um volume de apenas 500 módulos por semana, quando comparado com o produto "A" (28000), não era necessário um cálculo mais aprofundado sobre o número de equipamentos para cada um, visto que não se justificava dado o volume de produção previsto.

5.3.4.2. Definição de layout

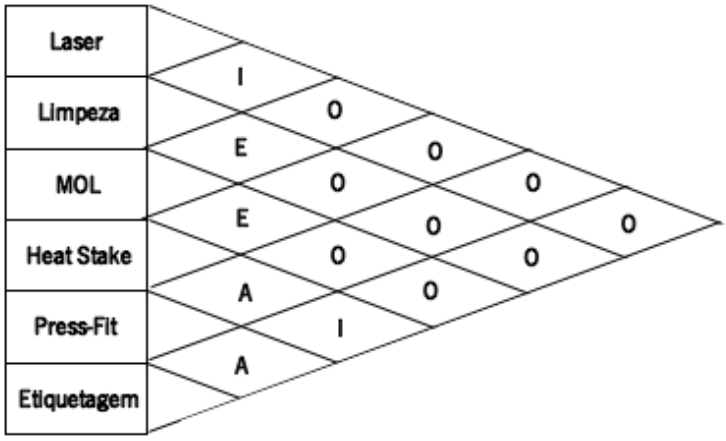
Recorrendo ao agrupamento executado na secção 4.3.2.3., de acordo com a interpretação "B", que separava em três células distintas conforme a dedicação e partilha face aos dois produtos, é possível perspetivar a construção de células de produção que reúnam o conjunto de equipamentos indicado.

Contudo, essa divisão, se transposta para um *layout* não tinha em conta os fluxos de produção, nomeadamente a separação dos fluxos por tipo de placa e o peso que os respetivos volumes de produção possuem. Tendo em conta que o produto com maior volume é o produto A (28000 módulos) e que o

produto "B" representava 1,7% do volume de produção do produto "A", não se justificava alterar o *layout* existente para além do posicionamento dos equipamentos que funcionam dedicados ao produto "B".

Para além disso, havia três equipamentos que pela sua dimensão elevada e necessidade de estruturas de alimentação energética e de ar comprimido não podiam ser movidos que eram a THT, o *Coating* e a *Fuse Insertion*, o que inviabilizaria qualquer mudança radical de *layout*. Contudo, a mancha a amarelo da Figura 103 acima que remetia para uma área dedicada ao produto "B" podia e devia ser executada, visto não existir, de momento, nenhuma estrutura montada.

Adicionalmente, este facto vem confirmar a utilidade de criação de uma área com os equipamentos dedicados ao produto "B", conforme referido no início deste subcapítulo. Assim, e atendendo ao processo representado pela Figura 102, foi elaborado um diagrama de Muther (Figura 107) como forma de orientar uma disposição entre os elementos do grupo de equipamentos dedicados ao produto "B" e os dois equipamentos que já se encontravam na área a ocupar pelo produto "B".



Grau	Importância
A	Muito Importante
E	Importante
I	Moderado
O	Pouco Importante
U	Não Desejável

Figura 107 - Diagrama de Muther para o Layout da zona dedicada ao Produto "B".

A partir da Figura 107 foi possível construir o diagrama de relacionamento relativo onde o número de traços por ligação representa a importância atribuída à relação – quantos mais traços, mais forte é a ligação. Dessa aplicação resulta o diagrama representado na Figura 108.

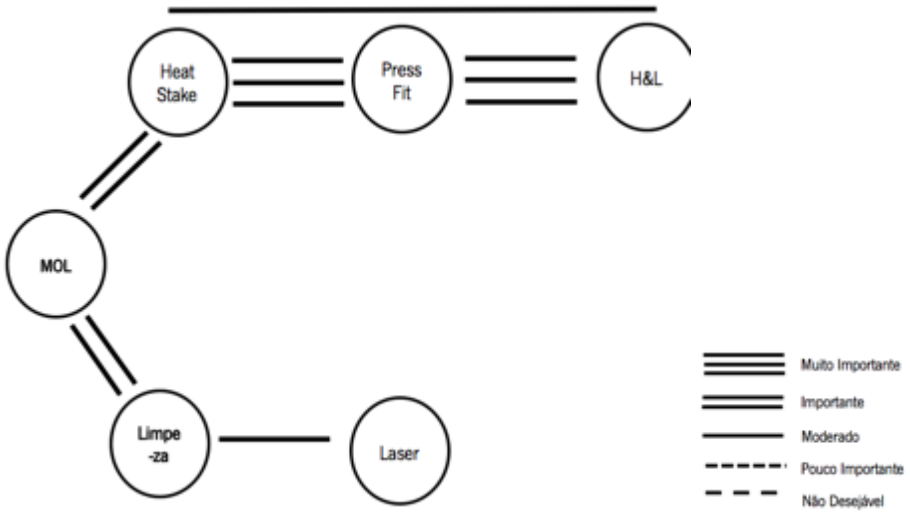


Figura 108 - Diagrama de Relacionamento para a zona dedicada ao produto "B".

As ligações mais fortes formam-se em primeiro lugar estando alinhadas ficando, por isso, em linha o *Heat Stake*, o *Press-Fit* e o *Housing & Labelling*, até porque são processos consecutivos. Logo a seguir, ocupando uma posição posterior, mas central situa-se o MOL de onde partem placas para a limpeza e MOL consoante o produto. A importância moderada da máquina de Limpeza se situar próxima da máquina de gravação a laser devia-se ao facto de ser a colaboradora responsável pela limpeza também responsável por operar o ciclo de gravação a laser das placas.

A etapa seguinte consistiu na elaboração das propostas de *layout* consoante o resultado da aplicação dos métodos anteriores, nomeadamente do resultado do diagrama de relacionamento relativo dos postos de trabalho.

Desse modo, a Figura 109 representa a primeira proposta de *layout* para a zona dedicada com os dois equipamentos já existentes (Limpeza e Laser).

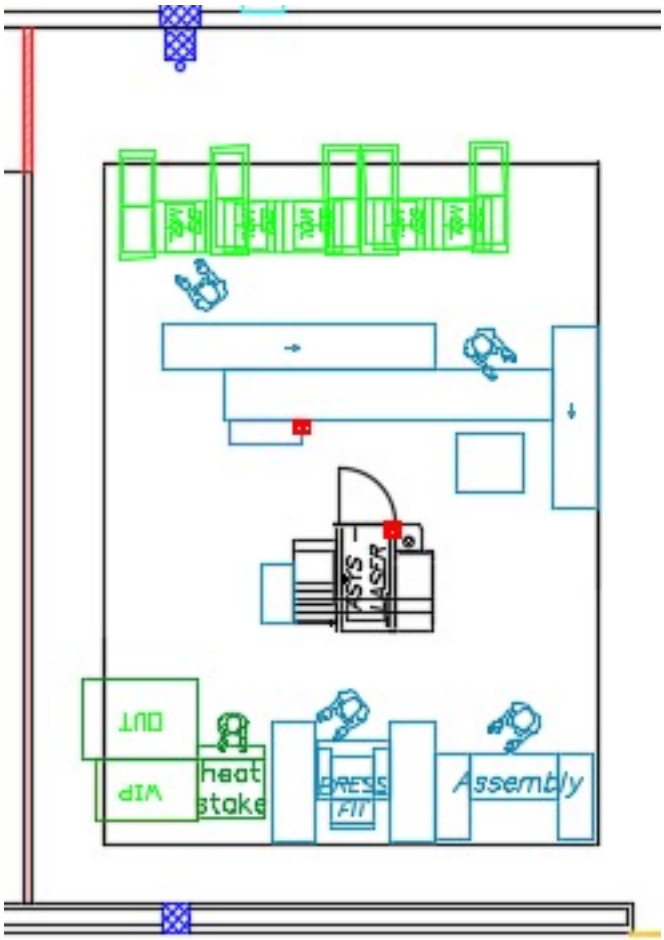


Figura 109 – Primeira proposta de Layout para zona dedicada ao Produto "B".

Nesta figura é possível observar que, para seguir o fluxo de placas eletrónicas, se situaram os MOL na primeira linha da frente virados para o corredor, de modo a serem mais facilmente alimentados, sendo que as placas ao passarem para a limpeza a colaboradora apenas teria de colocar num tapete rolante os módulos. Esta proposta propôs também um posicionamento diferente da máquina *Laser*, passando a ocupar uma posição central de modo a que o *andon* fique visível, tanto para a operadora da limpeza como para quem estiver a operar os equipamentos dedicados ao produto "B". Isto serviu para que a sua operabilidade estivesse ao alcance de ambos os postos, proporcionando uma operação mais flexível de acordo com as necessidades do momento. Seguindo a linha do que consta do diagrama de relacionamento relativo, os três equipamentos dedicados ao produto "B" encontram-se sequencialmente dispostos ao fundo área.

A outra proposta de *layout* está representada na Figura 110.

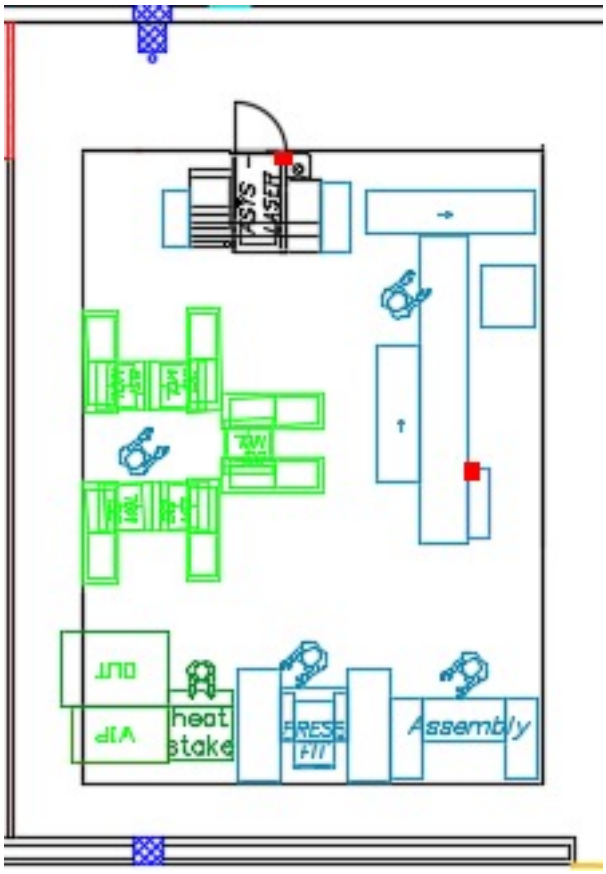


Figura 110 - Segunda proposta de layout para a zona dedicada ao Produto "B".

Nesta segunda proposta fez-se outra interpretação do diagrama de relacionamento ao destacar os MOL numa posição central em relação aos restantes equipamentos. Nesta proposta, as placas podiam seguir diretamente tanto para a zona dedicada ao Produto "B" como para a zona do Produto "A". Para além disso, mantinham o *standard* de ser a operadora responsável pela limpeza a operar a máquina a laser posicionando os respetivos equipamentos de forma mais próxima e direta comparativamente com a proposta anterior e até mesmo com o *layout* atual.

Deste modo, foi complementarmente elaborada uma tabela (Tabela 47) que efetua uma análise ponderada de fatores para que a seleção do *layout* fosse mais objetiva.

Tabela 47 - Análise ponderada de fatores.

Critérios	Peso Relativo	Proposta 1	Proposta 2
Fluxo linear do produto	25%	4	5
Distância entre Eq. Laser e Eq. Limpeza	25%	2	4
Distância entre eq. HS-PF-H&L	30%	5	5
Área de Locomoção	20%	3	4
Pontuação: 0 (mau) a 5 (excelente)	Pontuação Final	3,6	4,6

Da Tabela 47 a proposta 2 foi a selecionada, pois não só mantinha um *standard* utilizado atualmente sem efeitos nefastos associados até ao momento, como prevenia a entropia causada pela quase aleatoriedade de operação associada à proposta anterior. Permitia ainda aproximar a máquina laser encurtando a sua distância em relação à proposta anterior, beneficiando, assim, aqueles que eram os equipamentos utilizados pelo produto com maior volume de produção.

Contudo, uma vez que o projeto de restruturação da zona de produção do produto "A" devido à quebra da procura foi concluído após esta primeira fase de estudo do *layout* do Produto "B", surgiu a oportunidade de poder executar o que o método DCA propunha ao juntar no mesmo subgrupo de equipamentos a máquina Laser junto ao THT.

Uma vez que a proposta final de restruturação do *layout* da célula produtiva do produto "A" incluía a integração do ICT com a *Fuse Insertion*, passou a estar disponível o espaço ocupado originalmente pelo ICT, que poderia alojar o Laser. Assim, foi possível manter a escolha do *layout* definido para a zona de produção do Produto "B", com a diferença de não incluir a máquina Laser. O resultado da proposta do *layout* final desta zona pode ser observado na Figura 111.

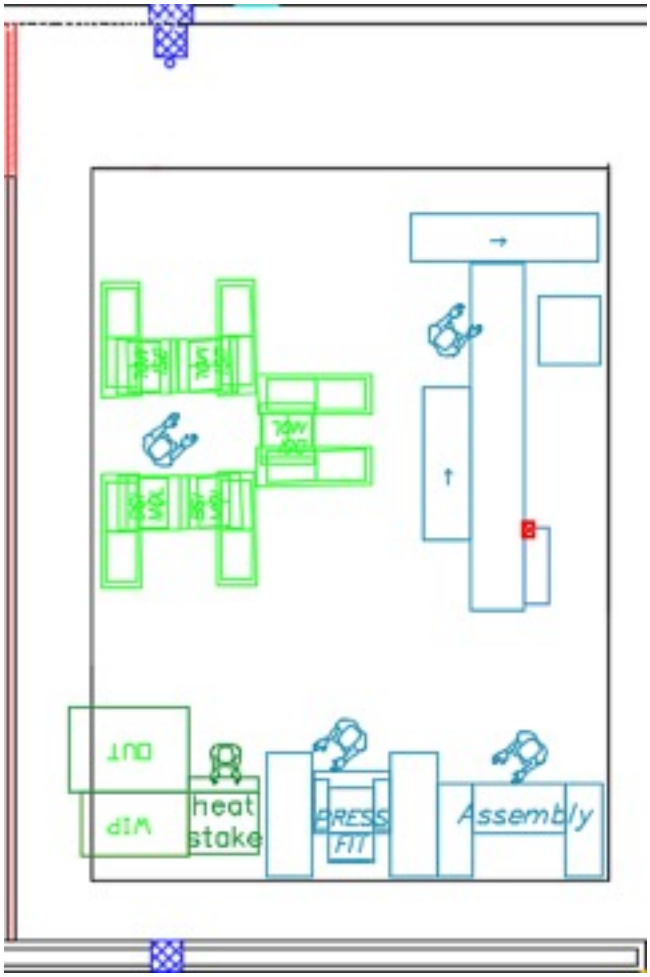


Figura 111 - Layout Final para a zona produtiva do Produto "B".

5.3.4.3. Modo operatório

Tendo em consideração o *layout* representado na Figura 112 e o fluxo nele ilustrado, entende-se melhor a complexidade envolvida no circuito de placas diferenciada pelo seu tipo e do circuito do módulo final.

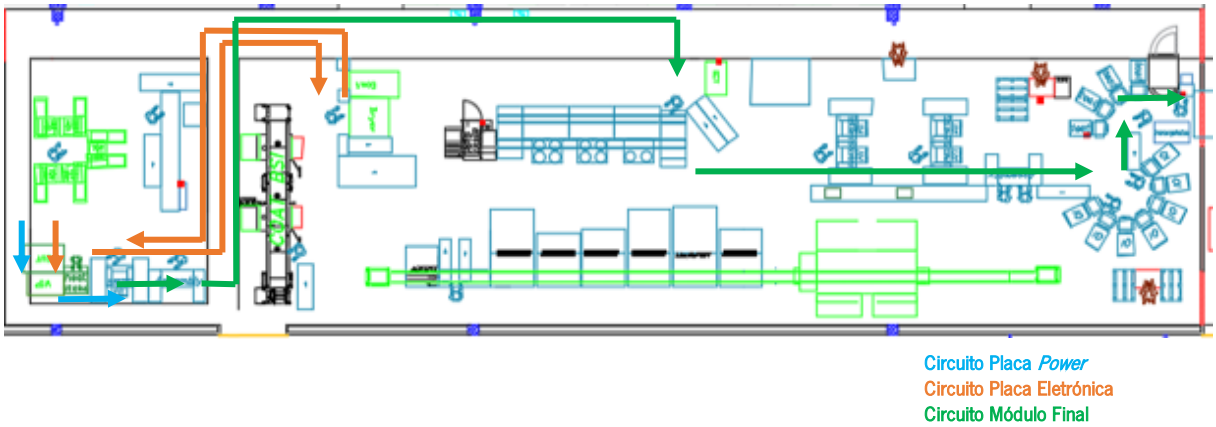


Figura 112 - Layout e circuito produto "B".

Em termos de modo operatório em si, uma vez que apenas se iria afetar uma colaboradora, esta poderia ter a liberdade de gerir o seu próprio modo operatório. Contudo, para uma maior eficiência estudaram-se as hipóteses de trabalho aproveitando o facto de existirem dois tipos de placas e de permitirem conjugar operações. Numa primeira fase, devia-se iniciar o processamento das placas eletrónicas no *Heat-Stake*. Isto porque, após o seu processamento, estas seguiriam para o *Coating*. Enquanto isto, o *Heat-Stake* ficaria livre para processar as placas *power*. Uma vez que a colaboradora do *Coating* é a que vai processar as placas do produto "B", a colaboradora dedicada a este produto tem disponibilidade para processar as placas *power* em simultâneo com o *Coating*. Como a placa *power* teria de ser alvo do processo de *Press-Fit* a seguir, e o tempo de processamento do *Heat-Stake* era superior ao do *Press-Fit*, tentou-se simular a exequibilidade destes dois postos serem operados simultaneamente pela mesma colaboradora. Para isso, simulou-se utilizando uma WCT, conforme é possível observar pela Figura 113.

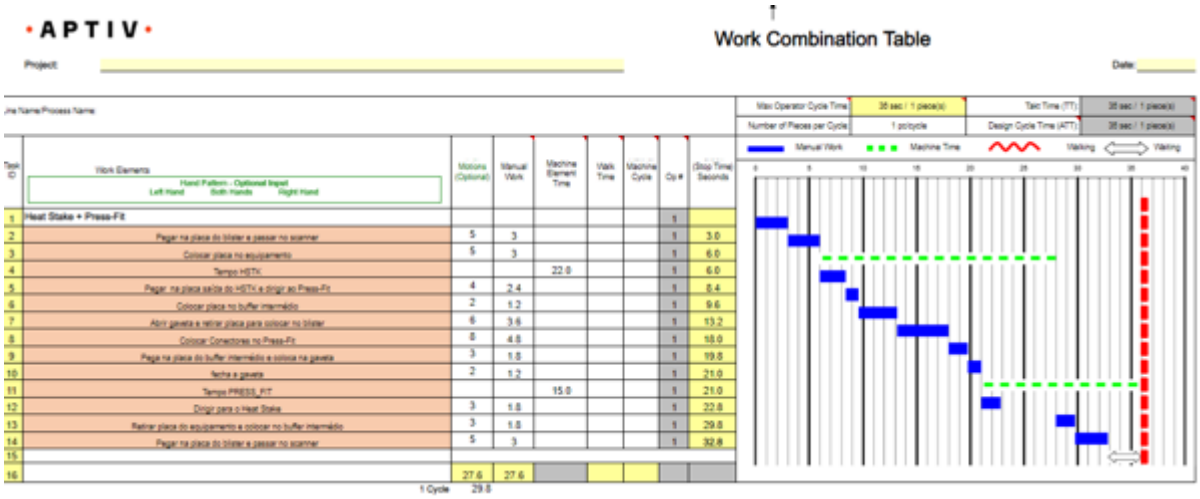


Figura 113 - Work Combination Table - Operação de Heat-Stake e Press-Fit seguida.

Na Figura 113 há a possibilidade de aquando da produção da placa *power* a colaboradora operar estes dois postos simultaneamente perfazendo um tempo de ciclo conjunto de aproximadamente 30 segundos. Enquanto uma placa está a ser processada no *Heat-Stake* a colaboradora operaria o *Press-Fit* e vice-versa. Uma vez terminados o *Press-Fit* da placa *power* deve-se aguardar pelo término do *Coating* da placa eletrónica. Entretanto o *changeover* do *Press-Fit* deveria ser realizado para que se proceda à junção das duas placas. Uma vez disponíveis as placas eletrónicas provenientes do *Coating*, procede-se ao *Press-Fit* das duas placas e segue-se depois para o *Housing & Labelling* .

Após terminado o H&L as placas seguiriam para a inserção de fusíveis onde também nesse posto se tem de proceder ao *Changover* das paletes para poderem alojar os módulos. Terminado esse processo seguem em caixas os módulos com os fusíveis colocados para o *Functional Test.*

Concluindo, nos três postos dedicados ao produto "B" apenas uma colaboradora ficaria alocada adotando o *one-piece-flow,* pois o operador ficaria sempre com uma placa, acompanhando-a até ao fim onde a vai carregando e descarregando as máquinas nos postos por onde passa, configurando o modo operatório *Chaku-Chaku*.

5.3.4.4. Definição e criação de folhas normalizadas de trabalho

Definido o modo operatório, foi necessário definir as folhas normalizadas de trabalho ou instruções de trabalho para cada operador da linha, neste caso apenas uma colaboradora. Esta definição teve duas vertentes: 1) relacionada com as instruções para se proceder ao *changeover* dos equipamentos para se prepararem para produzir o produto "B"; 2) relacionada com a operação correta dos equipamentos para a vertente de produção aplicada às especificidades do novo produto. As instruções de trabalho encontram-se no Apêndice VIII, com a exceção dos postos de *Fuse Insertion* e Embalmento por falta de

equipamento que permita a sua elaboração. No caso da *Fuse Insertion* não houve paletes que permitissem a sua elaboração e no caso do embalamento, das caixas próprias para simular o seu embalamento para o cliente. Todas as instruções de trabalho referidas encontram-se no Apêndice X.

5.3.4.5. Dimensionamento de Buffers Produtivos

Relativamente aos *buffers* produtivos estes destinam-se a prever as necessidades de inventário nos momentos de utilização dos postos partilhados pelos dois produtos. Isto porque não podem ser produzidos simultaneamente nos postos de inserção de fusíveis e *Coating,* sendo que impactará a produção do produto "A" nos postos de *Functional Test* e *Packing*.

Nesse sentido, foi elaborada uma tabela (Tabela 48) utilizando os tempos previstos com base em informações dos fornecedores e experiência de equipamentos semelhantes para produtos também semelhantes que existem na fábrica local e internacional e que pretende estimar as necessidades para dimensionar os *buffers* para que a produção do produto "A" possa prosseguir enquanto o produto "B" é fabricado nos postos indicados.

Tabela 48 - Buffers produtivos para o Produto "A".

Processo	TC (seg)	Tempo CO (min)	Vol/ Semana	Ocupação/semana (min)	Lotes/ semana (unid)	Ocupação/ lote (min)	Ocupação/ lote + CO (min)	TC "A" (seg)	*Buffer* de "A"
Coating Eletronica	30	5	500	250	5	50	55	47	70
Fuse insertion	20	17	500	167	1	167	184	11	1002
FT	140	20	500	1167	5	233	253		
Packing	14	5	500	117	5	23	28		

O que a tabela mostra é que considerando que o processo de *Coating* e de *Fuse Insertion* são feitos com recurso à totalidade do equipamento seria necessário um buffer de 70 placas eletrónicas com *Coating* para colmatar a perda produtiva causada pela ocupação ao nível temporal deste equipamento com a produção do Produto "B" e de 1002 placas com os fusíveis já inseridos.

Uma lógica diferente é necessária para a determinação do impacto da produção do novo produto aquando da utilização dos *Functional Tests* e do Embalamento, isto porque nestes postos de trabalho vão ser produzidos em simultâneo os dois produtos, sendo que para os *Functional Tests* um deles estará dedicado apenas ao novo produto. Assim, a Tabela 49 apresenta o respetivo impacto.

Tabela 49 - Buffers produtivos para o Produto "A" para postos partilhados e dedicados.

Posto - Produto "A"	TC	*Buffer*
FT	92	761
Buffer "A"		9
RF	50	
Buffer "A"		11
PACKING (Caixa de 10 unidades)	14	

Enquanto se está a embalar 10 módulos do Produto "B" (10x14s=140s), produzem-se 11 módulos do produto "A" que ficam em *stock* no RF. Por sua vez, enquanto 10 módulos do Produto "B" são embalados, 9 módulos (140/(92/6)) do produto "A" ficam em *buffer* no FT. Todavia, nos 140s de embalamento de 10 unidades do produto "B", corresponde a 1 módulo do produto "B" a ser testado no FT dedicado. Ou seja, só ao fim de 1400 segundos ou 23 minutos (10x140s) se testam 10 módulos do produto "B". Significaria por isso, que de 23 em 23 minutos se embalariam 10 módulos e só ao fim de 2,6 turnos ((500x1400/10=70000s=1167min=2,6 turnos) é que os 500 módulos do produto "B" ficariam prontos a enviar ao cliente. Por outro lado, enquanto um FT está ocupado com o produto "B" são 761 módulos do produto "A" que ficam sem ser processados ((1167min x 60s)/92s).

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos com o presente projeto de dissertação onde se incluem as propostas que foram implementadas e a previsão de resultados no seguimento das propostas que não puderam ser implementadas, quer por motivos relacionados com a restrição temporal inerente à condição do presente projeto e a própria pandemia, quer com outros motivos que são específicos de cada um dos problemas em estudo.

6.1 Resultados de ações implementadas

Esta secção apresenta os resultados das ações implementadas que foram um menor tempo de ciclo acompanhado de uma maior capacidade produtiva no *Coating Line*, maior rácio de utilização capacitiva geral e dos indicadores de desempenho analisados, uma redução de custos associados ao espaço ocupado pela implementação do projeto de linha dedicada ao novo produto e ainda uma redução do nível de refugo proveniente do *Press-Fit*.

6.1.1 Menor tempo de ciclo e maior capacidade produtiva no Coating Line

A partir da redução do tempo de ciclo do *Coating Line* conseguida pela remoção de uma atividade que não acrescentava valor conseguiu-se uma redução de aproximadamente dois segundos conforme estimado pelo WCT elaborado do posto de trabalho. Assim, foi possível passar de uma capacidade produtiva de 38037 placas para 41269 placas, ou seja, um aumento de **8,5%** de capacidade semanal.

Tendo em conta que uma semana após a implementação desta alteração, um novo requisito de qualidade implicou uma passagem extra do *Coating* numa zona específica da placa, o que conduziu a um aumento no tempo de ciclo de mais 3 segundos. Deste modo, o tempo de ciclo passou para os 17 segundos tendo a redução inicial do tempo de ciclo permitido uma recuperação de 2 segundos face aos 16 segundos iniciais. Dois segundos esses que representavam mais **2241** placas que seriam perdidas caso os 16 segundos iniciais se mantivessem inalterados (Tabela 50).

Tabela 50 - Ganhos a partir da redução do tempo de ciclo do Coating Line.

TC Inicial (segundos)	TC Após Melhoria (segundos)	Ganho (segundos)	TC Após Alteração (segundos)	Ganho Final de Capacidade
16	14	2	17	2241 placas

6.1.2 Maior rácio de utilização capacitiva geral e melhoria dos indicadores de desempenho

Como consequência do ajustamento realizado no âmbito da redução da procura do produto "A" verificou-se que a retirada de um par de *Press-Fits*, de um *Coating Stand Alone* e a retirada da máquina automática do *Housing and Labelling* aumentou, nestes postos, a taxa de utilização em relação à capacidade do processo. Passou-se de uma média de taxa de utilização de 79% para 86%, ou seja, uma melhoria média de 8%. A Figura 114 é ilustrativo disso mesmo, sendo que nos restantes postos de trabalho a capacidade utilizada manteve-se inalterada.

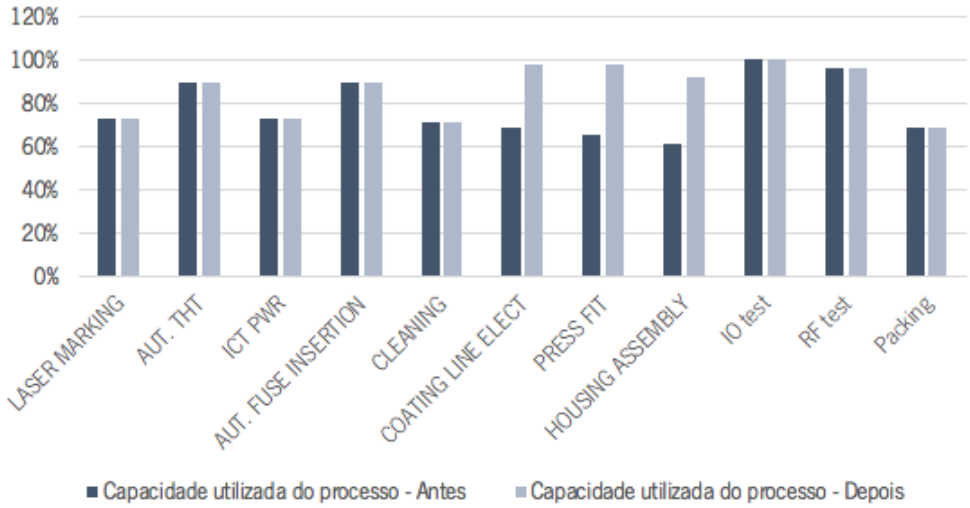


Figura 114 - Antes e Depois da Capacidade Utilizada do Processo

Verificou-se também uma melhoria no âmbito dos indicadores de desempenho calculados aquando da análise critica da situação atual do capítulo 4. Apesar de o tempo de ciclo do sistema se ter mantido nos 13 segundos o ajustamento efetuado devido à atualização da procura conduziu a uma descida do valor do WIP, do tempo de atravessamento, uma ligeira melhoria do rácio de valor acrescentado e levou a uma outra melhoria ao nível do índice de planura, traduzindo um balanceamento mais ajustado às necessidades, conforme é possível conferir na Tabela 51.

Tabela 51 - Indicadores de desempenho, após implementação de medidas.

Indicador	Antes	Depois	Ganho	Variação %
WIP (módulos)	825.00	461.50	- 363,50	-44%
Tempo Atravessamento (TA) (segundos)	10758.00	6017.96	- 4740,04	-44%
RVA (Somatório TC/TA)	0.010	0.02	+ 0.01	100%
Índice de Planura	10.31	8.27	- 2,04	-20%

6.1.3 Redução de espaço ocupado e custo

No âmbito do projeto de *layout* para o novo produto "B" foi já implementada a fase de posicionamento dos novos equipamentos dedicados ao novo produto, nomeadamente a estação de *Heat-Stake*, o *Press-Fit* e as respetivas bases de *changeover* e, ainda, a estação de *Housing and Labelling* (Figura 115).

Figura 115 - Instalação dos equipamentos dedicados conforme proposto.

Esta mudança resultou numa melhoria de 20,5m² para 11,7m² que equivale a uma poupança de 880 euros anuais correspondentes os 8,8m² de ganho espacial (Tabela 52).

Tabela 52 - Ganhos de espaço e ganho monetário com a instalação dos equipamentos dedicados ao produto "B".

Área inicial ocupada (m²)	Área final ocupada (m²)	Ganho Espaço (m²)	Ganho de Monetário Anual (€)
20,5	11,7	8,8	880

6.1.4 Redução de refugo no *Press-Fit* – (*Control*)

Com a implementação do projeto *Lean Six Sigma* foi possível obter ganhos consideráveis ao nível do refugo, pois foi possível ultrapassar em dois pontos percentuais o objetivo traçado. Pela observação do gráfico da Figura 116 é possível testemunhar uma redução de 57% no volume de refugo quando comparado com o volume de Janeiro. Em termos do valor em partes por milhão este intervalo percentual de 57% corresponde a uma descida de 1172 de defeitos em ppm para 503 de defeitos em ppm. Em termos monetários representa uma descida de 3010 euros de refugo para 1197 euros, ou seja, uma diferença de 1813 euros.

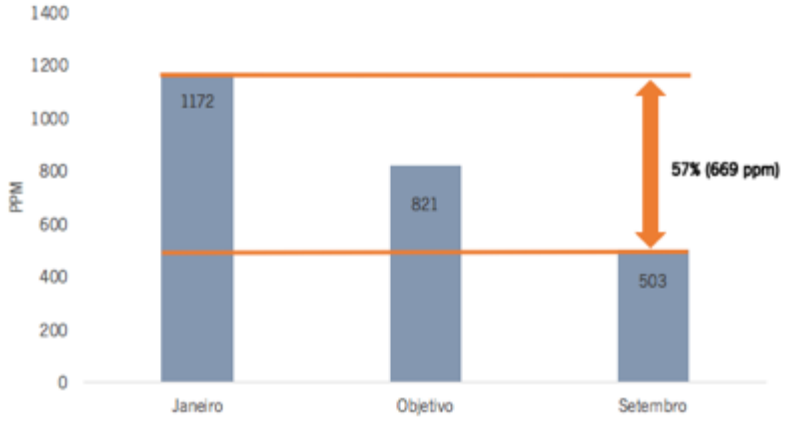


Figura 116 - Resultados refugo Press-Fit em ppm.

Em termos comparativos da posição relativa que ocuparia o refugo do *Press-Fit* percebeu-se que passou a ocupar 3ª posição enquanto que em janeiro ocupava a primeira (Figura 117).

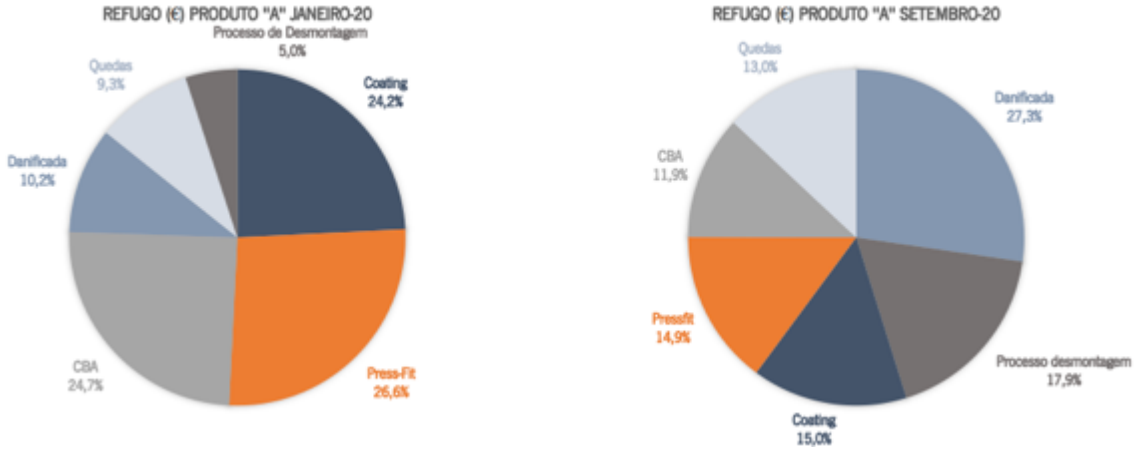


Figura 117 - Comparação posição relativa do refugo do Press-Fit entre Janeiro e Agosto de 2020.

Outro gráfico que ajuda a entender a evolução do refugo desde janeiro é o representado na Figura 118, que também comprova a melhoria alcançada.

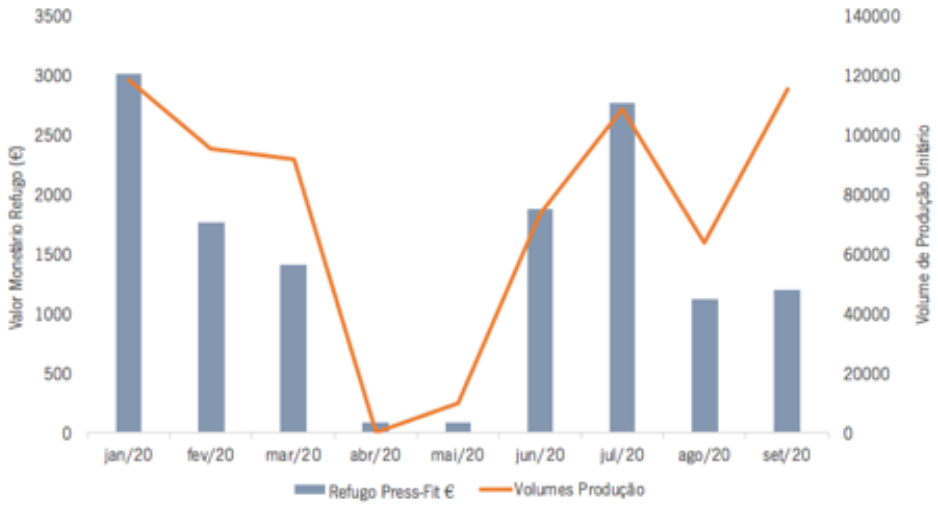


Figura 118 - Evolução refugo do Press-Fit vs Volume de produção de Janeiro a Setembro de 2020.

Neste gráfico (Figura 118) verifica-se o mês de Janeiro e Julho foram críticos em termos de refugo traduzido em valor monetário tendo sido os meses de abril e maio aqueles com menor volume de refugo e produção por motivos relacionados com a pandemia vivida. É no período de retoma com início em junho que se volta a acentuar os níveis de refugo monetariamente com uma tendência crescente interrompida pelo mês de agosto que é considerado um mês atípico por ser o mês de férias e paragens fabris bem como retoma e ajuste. Em setembro, há uma retoma dos valores de produção habituais onde é visível o efeito das ações implementadas até ao final do mês de agosto, onde para um nível de produção próximo do de janeiro se obteve mais de metade do refugo em valor monetário registado no mês de janeiro (Tabela 53).

Tabela 53 - Síntese resultados do projeto LSS.

Indicador	Antes	Depois	Ganho
Volume de ocorrências (ppm)	1172	503	**669**
Volume monetário (€)	3010	1197	**1813**
Posição relativa	1ª	3ª	**2 lugares**

Relativamente à sustentação destes ganhos, que represente a fase de *Control* da metodologia DMAIC, passou-se a realizar uma monitorização diária na reunião operacional diária onde se apresentam e discutem os valores de refugo do *Press-Fit* e é realizada todas as manhãs na área produtiva e que vai continuar a ocorrer. Encontra-se também atualizada a instrução de trabalho com o novo *standard* definido para a operação deste posto de trabalho e encontra-se implementado um alerta de qualidade no posto de trabalho para orientar todos os colaboradores. Encontra-se também em monitorização a característica especial em termos de qualidade que é a junção de placas, onde os dados de força desta operação são registados no sistema de base de dados da empresa.

6.2 Resultados previstos de propostas a implementar

Esta secção apresenta os resultados que se prevê que sejam atingidos com a implementação de propostas que ainda não puderam ser implementadas. É o caso do ganhos monetários com a integração do ICT com a *Fuse Insertion*, da utilização da proposta de equipamento único no H&L, através da aquisição de uma máquina adicional de FT e consequente redução do tempo de ciclo, as reduções de distância percorrida através da nova rota logística proposta, o novo layout da zona do produto "A" e, por fim, a proposta de retirada da operação de cravação a quente relativa ao produto "B".

6.2.1 Ganhos monetários através da integração do ICT com a Fuse Insertion

Com a proposta de integração dos postos de trabalho do ICT com a *Fuse Insertion* acaba-se por eliminar um posto de trabalho, uma vez que seriam operados por uma colaboradora. Significa por isso que está envolvida a poupança associada ao emprego de um colaborador. Tendo em conta que anualmente um colaborador implica um gasto de 15 000 euros por turno (valor *standard* considerado na empresa para estes efeitos), e que a área do produto "A" labora 3 turnos, a poupança total associada situa-se nos **45 000** euros anuais. Uma vez que o investimento necessário para a operacionalização da integração através da alteração das bases de ICT implicam um investimento de 2500 euros, estes estariam pagos em cerca de 2 meses.

De destacar que esta poupança em termos de colaboradores não implica o seu despedimento, pois não é esta a filosofia da metodologia *Lean Manufacturing* como também não é a da empresa. Deste modo, a colaboradora atualmente em funções poderá fazer parte de outra divisão produtiva que esteja com défice de mão de obra, por exemplo.

6.2.2 Ganhos monetários com equipamento H&L único

Usando a mesma lógica que foi usada no resultado previsto anterior, também no âmbito da proposta de adaptação da prensa manual no posto de H&L para que todas as operações desse posto pudessem ser feitas num só equipamento permitiria ter outra poupança anual de **45 000** euros anuais conforme o calculo efetuado na secção 6.2.1..

6.2.3 Aumento da capacidade produtiva e redução do Tempo de Ciclo dos Functional Tests

Considerando a dificuldade de o conjunto de *Functional Tests* atingir as 28500 unidades de produto total (produtos "A" e "B") e considerando como valor de referência os 91,2 segundos de tempo de ciclo ponderado de um FT a proposta inicial de aumento do número de equipamentos de 7 para 8, permitiria reduzir o tempo de ciclo do conjunto de 13,02 segundos para 11,4 segundos (aproximadamente 12 segundos). Isto significaria que para os 475 minutos disponíveis por turno e que laboram 15 turnos por semana, com um coeficiente de eficiência operacional de 90%, o tempo disponível para produção total são 370 170 segundos. Calculando a capacidade de produção para os novos 11,4 segundos por módulo, ficar-se-á com uma capacidade de **32471** módulos que contrastam com os **28412** módulos atuais, um aumento de aproximadamente **14%** (Tabela 54).

Tabela 54 - Síntese de ganhos com a aquisição de um FT adicional.

Indicador	Antes	Depois	Ganho
Tempo de Ciclo (segundos)	13,02	11,4	**1,62**
Capacidade (unidades)	28412	32471	**4059**

6.2.4 Menor distância com a nova Rota Logística

Através da nova proposta de rota logística é possível obter um ganho ao nível das distâncias percorridas que diminuem de 83 metros percorridos para **55 metros** percorridos, sendo que o TC se situa nos 7.8 minutos, menos **18 segundos** que o *Takt-Time* (8,1 minutos). Significa, por isso, que se conseguirá uma poupança de **28m** percorridos e uma descida do tempo de ciclo do percurso de 12 min para **7,8** minutos (Tabela 55).

Tabela 55 - Síntese de resultados com a proposta da nova rota logística.

Indicador	Antes	Depois	Ganho
Tempo de Ciclo (minutos)	12	7,8	**4,2**
Distância percorrida (m)	83	55	**28**

6.2.5 Redução do espaço ocupado

Uma das consequências da remoção de equipamentos por conta do ajuste e restruturação da área produtiva do produto "A", devido ao ajustamento da procura do cliente foi a redução do espaço ocupado que por si só acarreta custos para a empresa. Na Figura 119 encontra-se a diferença de *layouts* em que a primeira parte da figura encontra-se o *layout* inicial e a seguir o *layout* futuro proposto.

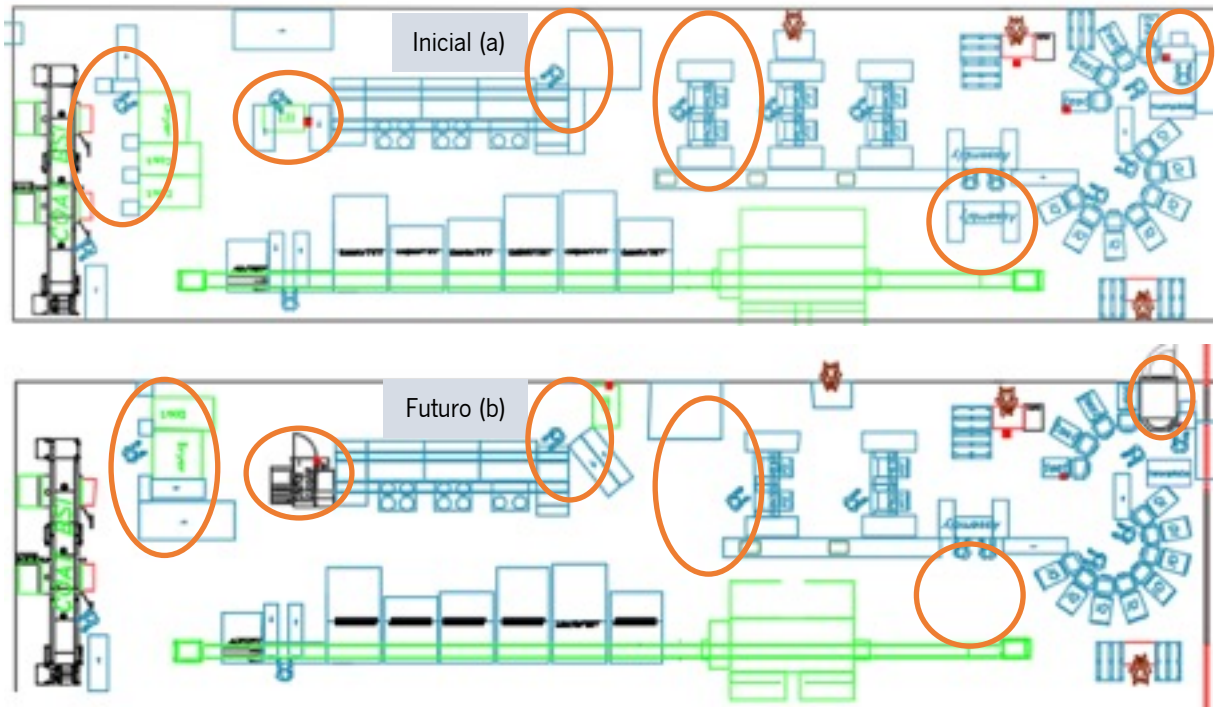


Figura 119 - Layout inicial (a) e Futuro (b) da área produtiva do Produto "A".

Tendo em consideração um custo anual de 100 euros, padrão da empresa por cada m² preenchido, a Tabela 56 apresenta as diferenças entre as áreas e custos associados aos dois *layouts*, inicial e futuro.

Tabela 56 - Diferença de áreas e custos associados entre Layouts.

	Ocupação (m²)	Custo (€)
Área Inicial	244	24400
Área Futura	225	22500
Diferença (%)	**8%**	**8%**

Assim, através da Tabela 56 conclui-se que após a restruturação o *layout* possibilitará uma poupança anual de **1900** euros por via da diminuição da ocupação da área produtiva.

6.2.6 Redução de custos com a retirada da operação de Heat-Stake (Produto "B")

Ao se propor retirar a operação de cravação a quente (*Heat-Stake*) está-se a eliminar uma operação que possui custos associados. Tendo em conta que anualmente se prevê que sejam produzidas 500 unidades de produto "B" significa uma produção anual de 26000 unidades. Considerando um tempo de ciclo estimado, por excesso de 30, segundos e um *changeover* de 10 min o custo monetário por colaborador pode ser obtido multiplicando o tempo de ciclo pelo volume total e custo por segundo de 0,0035 euros, o que perfaz 2730 euros. Adicionando o custo de operação do *changeover* anual obtém-se um custo de 218 euros. No total, anualmente, obter-se-á uma poupança de **2948** euros.

6.3 Síntese de resultados

Esta secção apresenta de forma resumida os resultados quantitativos alcançados no decorrer do presente projeto de dissertação.

Tabela 57 - Síntese de resultados.

Proposta	Resultado	Ganho monetário (euros)
Implementadas		
Novo standard work para o *Coating Line*	• Menor tempo de ciclo (-2 segundos); • Maior capacidade produtiva semanal (+ 2241 placas).	N.D.
Ajustamento a nova procura	• Melhoria no rácio de utilização geral da capacidade dos equipamentos em 8% (média); • Melhoria do WIP em menos 364 módulos; • Menos 4740 segundos de tempo de atravessamento; • Mais 0,01 de rácio de valor acrescentado; • Menos 2,04 pontos de melhoria no índice de planura.	N.D.
Linha dedicada ao produto "B"	• Mais 8,8metros quadrados de área disponível.	880
Projeto *Lean Six Sigma*	• Redução do refugo em 57%.	1813
Previstos		
Integração ICT com *Fuse Insertion*	• Poupança 1 colaborador por turno.	45 000
Equipamento único H&L	• Poupança 1 colaborador por turno	45 000
Aquisição de mais 1 FT	• Melhoria do Tempo de Ciclo em 1,62 segundos que resulta num aumento de capacidade em 4059 unidades.	N.D.
Nova rota logística	• Menos 4,2 minutos de tempo de ciclo e menos 28m percorridos num ciclo.	N.D.
Novo *layout* pelo ajustamento de procura	• Redução do espaço ocupado em 8%.	1900
Retirada de operação de *Heat-Stake* da placa *Power*	• Redução de custos.	2948
Poupança anual Total (euros)		95 728
Poupança pontual (euros)		1813

7 CONCLUSÃO

No presente capítulo são apresentadas considerações finais sobre o projeto de dissertação onde se destacam os principais resultados obtidos e uma perspetiva das propostas apresentadas para o futuro.

7.1 Considerações Finais

No âmbito da melhoria continua dos processos produtivos de componentes eletrónicos para automóveis desenvolveu-se o presente projeto de dissertação que teve como foco a área de produção do produto "A" no edifício 2 do complexo produtivo da empresa Aptiv. Nesta área foi feito um reconhecimento dos seus processos e necessidades em termos de matéria prima e gama operatória como forma de introduzir e fundamentar a fase que se seguiu de diagnóstico da sua situação atual.

Nesta última fase pretendeu-se identificar desperdícios e problemas que pudessem ser intervencionados através da aplicação dos conceitos de *Lean Thinking*. Entre os problemas identificados encontravam-se questões associadas ao balanceamento e capacidade dos processos, nomeadamente com a dificuldade em cumprir com o *Takt-Time*, falhas de abastecimento dos postos de trabalho, questões de necessidades de serralharia como forma de melhorar as condições de trabalho e ainda um elevado volume de refugo que representava um problema em crescimento com necessidade de intervenção. Para além disso identificaram-se instruções de trabalho a carecerem de atualização e identificou-se um potencial risco de segurança do produto em produção.

Após a primeira fase descrita no parágrafo anterior seguiu-se a elaboração de propostas de melhoria que se dividiram em três grandes subgrupos. O primeiro grupo diz respeito às propostas de melhoria das situações identificadas na fase de diagnóstico da situação inicial. Aqui, estudou-se o posto de trabalho mais crítico em termos de tempo de ciclo onde se concluiu a necessidade de mais uma máquina e se aprofundou o seu modo operatório numa tentativa de mitigar o elevado tempo de ciclo desse posto. Daí promoveu-se uma proposta experimental que carece ainda de execução, pois, por motivos de disponibilidade associado à situação pandémica vigente não foi possível implementar esta experiência. Adicionalmente, atualizaram-se as instruções de trabalho, propôs-se a retirada de uma operação no *Coating Line*, atualizou-se os 5S e lançou-se uma proposta de gestão visual como resposta à situação de segurança levantada.

Outro grande projeto incluído neste primeiro grupo de propostas foi o projeto *Lean Six Sigma* que surgiu como metodologia para resolução do grande volume de refugo no *Press-Fit*. Após esta primeira fase deu-

se início a uma fase de ajustamento do processo produtivo como resposta a uma alteração na procura do produto. Isto obrigou à elaboração de propostas que envolvem a redução do número de equipamentos e a um processo de escolha fundamentada de equipamentos a remover. Estas questões originaram um novo balanceamento promovendo-se ainda um estudo de oportunidades várias de melhoria contínua em virtude desta restruturação. Nelas destacam-se a integração de dois postos de trabalho, o ICT com a *Fuse Insertion*, uma proposta de desenvolvimento de um novo equipamento e uma proposta de uma nova rota logística associada a um novo *layout* que não só pretende responder à nova procura como também colmatar o problema identificado na fase de diagnóstico. Naturalmente este segundo grupo de propostas beneficiou já do grupo de propostas anterior.

O terceiro e último grupo de propostas diz respeito à preparação de uma nova área produtiva para um produto novo (Produto "B") da mesma família do produto "A". Identificou-se o seu processo produtivo e oportunidades de integração com o processo existente. Desse modo, foi definido o *layout* e localização da área que albergará os equipamentos dedicados, o seu modo operatório e ainda os *buffers* produtivos aquando da sua interação com o processo do produto "B". Desenvolveram-se ainda as instruções de trabalho para os equipamentos dedicados e partilhados, assim como das operações de *changeover* nos equipamentos partilhados.

Deste conjunto de propostas algumas conseguiram ser implementadas, outras não. Das que foram implementadas resultaram num menor tempo de ciclo para o *Coating Line,* menos dois segundos, num rácio de maior utilização geral dos equipamentos (mais 8% de melhoria média) acompanhado de melhores indicadores como o WIP, rácio de valor acrescentado, tempo de atravessamento e índice de planura, na execução das melhorias de bordo de linha, numa melhoria do espaço produtivo através dos 5S, na instalação segundo a proposta de layout dos equipamentos dedicados à produção do novo produto que ficou liberta em 8,8m^2, ou seja, representando menos 880 euros anuais em custos. Através do projeto *Lean Six Sigma* foi possível, ainda, uma redução de refugo na ordem dos 57%, quase o dobro do objetivo traçado pela equipa, o que significou menos 1813 euros de refugo no mês de setembro. Para alem disso, foram atualizadas as instruções de trabalho que disso necessitavam e foram elaboradas as novas para o processo novo.

No desenvolvimento do projeto foi possível consolidar conhecimentos obtidos ao longo do curso, mas também adquirir novos que contribuirão não só para o desenvolvimento profissional, mas também ao nível pessoal, nomeadamente ao nível da adaptabilidade a situações novas, adversas e repentinas experienciadas devido à situação pandémica que se vive.

7.2 Trabalho Futuro

Como trabalho futuro destacam-se as propostas que ainda não puderam ser implementadas por razões várias, das quais se destacam o tempo de desenvolvimento incompatível com a duração do estágio e os atrasos decorrentes de serviços necessários impactados pelo *Covid-19* e os próprios constrangimentos que a pandemia causou ao nível do tempo disponível. Essas propostas revestem-se de importância adicional, pois permitirão poupanças significativas a nível monetário.

Com a concretização da integração do posto de ICT com o de *Fuse Insertion* operacionalizada, permitirá uma poupança anual de 45000 euros e a adaptação da prensa manual existente no posto de H&L também permite perspetivar uma poupança do mesmo valor a que se somam 1900 euros anuais com poupanças de custo de ocupação de menor área ao proceder-se à disposição do *layout* final projetado.

Algumas mudanças nesse sentido já foram concretizadas, como foram as retiradas de equipamentos de *Press-Fit*, *Coating Stand Alone* e uma máquina de H&L, faltando a integração dos postos, reposicionamento do *Coating Stand Alone* sobrante e da câmara de secagem, bem como o posicionamento da Laser no lugar que atualmente ocupa o ICT.

Com a aprovação por parte do cliente da retirada da operação do *Heat-Stake* da placa *power* do Produto "B", possibilitará uma poupança anual de 2948 euros envolvendo custos energéticos e operacionalização. Através da nova rota logística aquando da implementação do *layout* final serão menos 28 metros percorridos por rota ou ciclo e aumentar-se-á a capacidade de produção em 14% com a adição proposta de mais uma máquina FT. Para além disso destaca-se ainda a necessidade de definição de um plano de manutenção futuro para os *Press-Fits* para que os ajustes efetuados sejam executados de forma calendarizada e preventiva, evitando que cheguem a afetar a qualidade do produto.

Outras propostas que careceram de disponibilidade e recursos em tempo útil para teste foram a colocação de bases de saída nos *Functional Tests* e que devem ser testadas no futuro, assim como a colocação das fitas nos tabuleiros para, visualmente, ser mais fácil o seu correto empilhamento. Esta última proposta não pode ser implementada, pois não existia, na altura, material próprio para aplicar. Para além de que se colada uma fita, esta seria facilmente danificada com o uso. Contudo, a situação permitiu retirar a lição de que situações destas devem ser acauteladas aquando do pedido de conceção destes tabuleiros para que no futuro situações como esta sejam evitadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aase, G. R., Olson, J. R., & Schniederjans, M. J. (2004). U-shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study. *European Journal of Operational Research*, *156*(3), 698–711. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00148-6

Almeida, G. (2019). *Melhoria em processos de montagem de controladores eletrónicos usando princípios Lean numa indústria do ramo automóvel*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

Alves, A. C. (1999). *Metodologia para a Concepção de Sistemas de Produção Orientados ao Produto* (Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho). Retrieved from http://hdl.handle.net/1822/9

Alves, A. C. (2007). *Projeto Dinâmico de Sistemas de Produção Orientados ao Produto* (Tese de Doutoramento em Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Produção e Sistemas). Retrieved from http://hdl.handle.net/1822/7606

Alves, A. C. (2016). *Projeto Dinâmico de Sistemas de Produção Orientados ao Produto*. Novas Edições Académicas.

Alves, A. C. (2018a). *Projeto/reconfiguração de células de produção.* Universidade do Minho - Escola de Engenharia. Departamento de Produção e Sistemas.

Alves, A. C. (2018b). U-Shaped Cells Operating Modes: a Review and a Hands-on Simulation Comparison. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM)*, *9*(2), 87–97. Retrieved from http://ijiemjournal.org/images/journal/volume9/IJIEM-4_018.pdf

Alves, A. C., & Do Carmo-Silva, S. (2006). Detailed Design of Product Oriented Manufacturing Systems. *Third International Conference on Group Technology/Cellular Manufacturing*. Retrieved from http://hdl.handle.net/1822/19149

Alves, A. C., Lima, R., & Silva, C. (2003). Sistemas de Produção Orientados ao Produto: Integrando Células e Pessoas. *Revista de Inovação Organizacional*, *1*, 109–146. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/256733132_Sistemas_de_Producao_Orientados_ao_Produto_Integrando_Celulas_e_Pessoas

Alves, A. C., Sousa, R. M., & DInis-Carvalho, J. (2016). Redesign of the production system: A hard decision-making process. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, *2016-Janua*, 1128–1132. https://doi.org/10.1109/IEEM.2015.7385824

Alves, A. C., Sousa, R. M., Dinis-Carvalho, J., & Moreira, F. (2015). Production systems redesign in a lean context: A matter of sustainability. *FME Transactions*, *43*(4), 344–352. https://doi.org/10.5937/fmet1504344A

Bastos, N., Gomez, A., Mesquita, C., Oliveira, M., Pacheco, T., Pinheiro, I., ... Sobral, N. (2019). *Aptiv: Ergonomic analysis of a Fuse Insertion, Press-Fit and Test workstation by the E.W.A. Method - Ergonomic workplace analysis*. Guimarães: SPOSHO Edições.

Bicheno, J., & Holweg, M. (2009). *The Lean Toolbox: The essential guide to lean transformation* (Fourth Edi). PICSIE Books.

Black, J. T. ., & Hunter, S. L. (2003). *Lean Manufacturing Systems and Cell Design* (First Edit). Society of Manufacturing Engineers.

Brandalise, F. M. P., Valente, C. P., Viana, D. D., & Formoso, C. T. (2018). Understanding the effectiveness of visual management best practices in construction sites. *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, *2*, 754–763. https://doi.org/10.24928/2018/0452

Chaku-Chaku in the Lean Lexicon. LEI - Lean Enterprise Institute (2020). (2020). Retrieved October 26, 2020, from https://www.lean.org/lexicon/chaku-chaku

Collie, B., Wachtmeister, A., & Waas, A. (2020). *COVID-19 Impact on the Automotive Industry*.

Costa, F. (2019). *Projeto e reconfiguração de linhas de montagem para novos produtos usando princípios Lean Thinking numa empresa de componentes eletrónicos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

Czifra, G., Szabó, P., MÍkva, M., & Vaňová, J. (2019). Lean principles application in the automotive industry. *Acta Polytechnica Hungarica*, *16*(5), 43–62. https://doi.org/10.12700/APH.16.5.2019.5.3

Faria, R. Jornal de N. (2019). *Indústria automóvel perde 80 mil empregos com perspetivas negras para os próximos anos - automovel - Jornal de Negócios*. Retrieved from https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/automovel/detalhe/industria-automovel-perde-80-mil-empregos-com-perspetivas-negras-para-os-proximos-anos

Feld, W. M. (2001). Lean manufacturing—tools, techniques, and how to use them. In *Journal of Manufacturing Systems*. https://doi.org/10.1016/s0278-6125(01)80022-4

Ferràs-Hernández, X., Tarrats-Pons, E., & Arimany-Serrat, N. (2017). Disruption in the automotive

industry: A Cambrian moment. *Business Horizons*, *60*(6), 855–863. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.07.011

Ferreira, R. (2015). *Melhoria do desempenho de uma secção de montagem final de uma empresa usando ferramentas Lean Production*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

Gao, S., & Low, S. P. (2014). Lean Construction Management. In *Lean Construction Management*. https://doi.org/10.1007/978-981-287-014-8

George, M. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production* (First Edit). McGraw-Hill.

George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *Lean Six Sigma Pocket Toolbox* (First Edit). McGraw-Hill.

Grout, J. R., & Toussaint, J. S. (2010). Mistake-proofing healthcare: Why stopping processes may be a good start. *Business Horizons*, *53*(2), 149–156. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2009.10.007

Ham, I., Hitomi, K., & Teruhiko, Y. (1985). *Group Technology. Applications to Production Management*. Kluwer-Nijhof Publishing.

Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, *25*(2), 420–437. https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.001

Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2004). *Manufacturing & Service Operations Management To Pull or Not to Pull: What Is the Question? the Question?* *6*(2), 133–148. https://doi.org/10.1287/msom.1030.0028

Imai, M. (1997). Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy. In *Library Journal* (First Edit, Vol. 122). McGraw-Hill.

Irani, A. S. (1999). Handbook of Cellular Manufacturing Systems. In A. S. Irani (Ed.), *Handbook of Cellular Manufacturing Systems*. https://doi.org/10.1002/9780470172476

Ishiwata, J. (1991). Productivity through process analysis. In *IE for the shop floor*. Productivity Press.

K. Liker, J., & P. Meier, D. (2007). *Toyota Talent: Developing your people The Toyota way*. McGraw-Hill.

Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the Lean Production S. *Sloan Management Review*, *41*.

Kruger, D. J. D. (2012). Implementing cellular manufacturing in a make-to-order manufacturing system: A South African case study. *Undefined*.

Kumar, N., & Mahto, D. (2013). Assembly Line Balancing: A Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application. *Global Journal of Researches in Engineering, Industrial Engineering*, *13*(2).

Kumar, U. D., Crocker, J., Chitra, T., & Saranga, H. (2006). Reliability and Six Sigma. In *Reliability and Six Sigma*. https://doi.org/10.1007/0-387-30256-5

Lenort, R., Staš, D., Holman, D., & Wicher, P. (2017). A3 Method as a Powerful Tool for Searching and Implementing Green Innovations in an Industrial Company Transport. *Procedia Engineering*, *192*, 533–538. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.092

Liker, J. (2004). The Toyota Way - 14 Managment Principles From The World's Greatest Manufacturer. In *Metallurgical and Materials Transactions A* (Vol. 30). McGraw-Hill.

Miltenburg, J. (2001). U-shaped production lines: A review of theory and practice. *International Journal of Production Economics*, *70*(3), 201–214. https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00064-5

Monden, Y. (2012). *Toyota Production System: an integrated approach to just-in-time* (4th ed.). CRC Press.

Murugan, M., & Selladurai, V. (2011). Formation of Machine Cells/ Part Families in Cellular Manufacturing Systems Using an ART-Modified Single Linkage Clustering Approach-A Comparative Study. In *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering* (Vol. 5).

Muther, R., & Hales, L. (2015). *Systematic Layout Planning* (4th Editio). Marietta, USA: Management & Industrial Research Publications.

Ohno, T. (1988). *Toyota Poduction System: Beyond Large-Scale Production*. New York: Productivity Press.

Oliveira, M. (2018). Reestruturação de duas linhas de montagem final usando princípios Lean numa empresa de componentes eletrónicos. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

Ortiz, C. A. (2006). Kaizen Assembly: Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line. In *Assembly Automation* (First Edit, Vol. 27). CRC Press.

Peixoto, P. M. O. (2017). *Melhoria de desempenho na área de inserção automática de SMDs , aplicando ferramentas Lean Production , numa empresa de componentes eletrónicos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

Pereira, G. (2019). *Análise e melhoria de um processo produtivo recorrendo a ferramentas Lean numa empresa de componentes eletrónicos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

Peterson, J., & Smith, R. (1998). The 5S pocket guide. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Pimentel, C., & Martins, S. (2016). Design and implementation of a manufacturing cell in a job shop

environment: An action research study. *Proceedings of 2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IEEE IESM 2015*, 398–407. https://doi.org/10.1109/IESM.2015.7380188

Pinto, J. P., & Amaro, A. P. (2007). *Criação de valor e eliminação de desperdícios*. Comunidade Lean Thinking.

Productivity Press Development Team. (1998). Just-in-Time for Operators. In *Just-in-Time for Operators*. https://doi.org/10.1201/b15234

Productivity Press Development Team. (1999). *Cellular Manufacturing: one-piece flow for workteams*. CRC Press.

Productivity Press Development Team. (2002). *Standard Work for the Shopfloor*. CRC Press.

Pujol, F. X. (2016). Results Optimization Process for Automotive Electronic Production in the Best-cost Country Production Plant. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *221*, 388–394. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.128

Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2009). *The Six Sigma Handbook*. McGraw-Hill.

Samanta, M. (2019). *Lean Problem Solving and QC Tools for Industrial Enginieers*. CRC Press.

Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, *21*(2), 129–149. https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0

Singh, J., & Singh, H. (2015). Continuous improvement philosophy – literature review and directions. *Benchmarking*, *22*(1), 75–119. https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2012-0038

Sobek, D. K., & Jimmerson, C. (2004). *A3 Reports: Tool for Process Improvement*.

Sobral, N., Rodrigues, B., Serra, C., Bastos, N., Gomez, A., Mequita, C., ... Dinis-Carvalho, J. (2019). Corporate memory in the lean context: Preventing short- andlong-term information loss. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*, *2019-June*. https://doi.org/10.23919/CISTI.2019.8760752

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. https://doi.org/10.1080/00207547708943149

Sunder, V. M., Ganesh, L. S., & Marathe, R. R. (2018). A morphological analysis of research literature on Lean Six Sigma for services. *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 38, pp. 149–182. https://doi.org/10.1108/IJOPM-05-2016-0273

Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. *Administrative Science Quarterly*, *23*(4), 582. https://doi.org/10.2307/2392581

Talapatra, S., Sharif-Al-Mahmud, Z. Z. Z., & Kabir, I. (2018). Overall efficiency improvement of a production line by using Yamazumi chart: A case study. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, *2018*(JUL), 3166. IEOM Society.

Wagner, I. (2019). • Car production: Number of cars produced worldwide 2018 | Statista. Retrieved December 23, 2019, from Statista website: https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/

Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2018). Identifying target oriented Industrie 4.0 potentials in lean automotive electronics value streams. *Procedia CIRP*, *72*, 1003–1008. https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2018.03.003

Werkema, C. (2012). *Lean Seis Sigma: Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora (Vol.4).

Wilson, L. (2010). *How to implement Lean Manufacturing*. McGraw-Hill.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish waste and Create Wealth In Your Corporation*. New York: Free Press.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine that changed the world*. New York: Macmillan Publishing Company.

APÊNDICES

Apêndice I – Cronometragem Tempos de Ciclo dos postos de trabalho do produto "A"

	TC Postos Placa Eletrónica			TC Postos Placa *Power*				TC Postos Módulo				
	Limpeza EB	Coating Line	Coating Std-Alone	Laser PB	THT	ICT	Fuse Shunt Insertion	Press-Fit	Housing & Labelling	Functional Test	RF Test	Packaging
	53,1	13,5	82,8		21,1	7,6	19,3	24,6	17,5	10,2	6,4	7,6
	73,7	13,4	131,5		17,1	14	17,8	28,2	18,0	8,1	12,4	8,5
	57,5	13,4	143,1		21,9	10,2	21,2	24,1	21,8	31,3	9,5	10,8
	55,5	16,1	183,6		22,0	16,8	22,8	23,4	18,5	35,0	14,9	8,0
	57,2	14,7	30,9		17,7	8,3	21,0	23,8	19,5	5,5	7,9	7,5
	62,8	14,5	335,7		24,1	14,1	24,0	25,6	26,0	2,6	9,3	7,3
	56,1	13,8	80,7		27,8	7,6	22,0	25,2	18,3	5,1	12,5	7,4
	55,5	19,7	183,3		13,4	16,2	23,0	25,1	18,0	11,2	14,1	7,6
	60,1	27,4	110,7		20,5	9,5	20,8	33,7	21,7	8,1	7,5	7,7
	55,9	13,4	169,7		24,9	29,7	23,2	22,6	22,3	12,8	11,3	16,2
TC	**9,8**	**16,0**	**48,4**	**9,4**	**10,5**	**13,4**	**10,8**	**8,5**	**10,1**	**13**	**10,6**	**8,9**
Output por dia	**8405**	**5152**	**1700**	**8723**	**7816**	**9261**	**7677**	**9626**	**8166**	**6328**	**7792**	**9287**

Figura 120 - Tempos de ciclo dos postos de trabalho do produto "A".

Nota: Para o posto de trabalho *Laser PB*, o tempo de ciclo 9,4 segundos foi obtido através do software do posto de trabalho que possui o respetivo cálculo.

Apêndice II - Tempos de Handling do posto FT

Tabela 58 - Tempos de Handling do posto FT.

	Transporte	Handling Puro	Handling Total		Transporte	Handling Puro	Handling Total		Transporte	Handling Puro	Handling Total
FT-040	3,55	2,74	**6,29**	FT-059	2,51	4,82	**7,33**	FT-060	2,01	2,48	**4,49**
	2,49	2,98	**5,47**		2,51	2,58	**5,09**		2,72	3,59	**6,31**
	2,24	3,28	**5,52**		2,59	5,65	**8,24**		2,47	2,01	**4,48**
	3,34	2,75	**6,09**		2,56	3,75	**6,31**		2,91	2,5	**5,41**
	3,27	3,16	**6,43**		2,58	5,35	**7,93**		1,68	1,86	**3,54**
	2,07	3,19	**5,26**		2,8	2,98	**5,78**		1,8	3,39	**5,19**
	2,69	2,8	**5,49**		2,95	4,01	**6,96**		1,31	2,46	**3,77**
	1,96	2,67	**4,63**		2,74	4,74	**7,48**		2,3	3,34	**5,64**
	2,4	2,91	**5,31**		2,52	2,99	**5,51**		2,7	3,14	**5,84**
	2,97	3,51	**6,48**		2,42	2,75	**5,17**		2,18	3,43	**5,61**

	Transporte	Handling Puro	Handling Total		Transporte	Handling Puro	Handling Total
FT-067	1,97	2,81	**4,78**	FT-068	1,08	3,56	**4,64**
	1,27	3,39	**4,66**		1,64	3,11	**4,75**
	1,86	3,46	**5,32**		0,9	2,82	**3,72**
	1,31	4,06	**5,37**		1,38	3,02	**4,4**
	1,34	3,38	**4,72**		1,18	3,69	**4,87**
	1,08	3,58	**4,66**		1,11	3,5	**4,61**
	1,82	3,58	**5,4**		0,99	3,12	**4,11**
	2,13	2,3	**4,43**		0,91	3,63	**4,54**
	2,4	2,72	**5,12**		1,7	3,68	**5,38**
	2,28	2,24	**4,52**		1,04	3,54	**4,58**

Apêndice III – Instruções de Trabalho Atualizadas

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva: 13/11/2019 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 13/11/2019 **Page 1 de 3**

Processo / Modelo: .ICT
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
	1	Pegar placa do blister pela ordem apresentada na foto e colocar na base livre - Foto 1 e 2	4	2,4		
	2	Fechar a tampa - Foto 3	2	1,2		
	3	Esperar pelo fim do processo na outra base - Foto 4	4	2,4		
	4	Abrir a tampa	2	1,2		
	5	Retirar a placa da base e colocar no blister pela ordem apresentada na foto - Foto 5	4	2,4		
		Total	16	9,6		

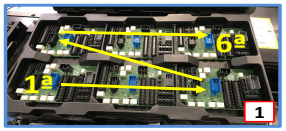
	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	13/11/2019		
Função:	MfgE		
Nome:	Nuno Bastos		

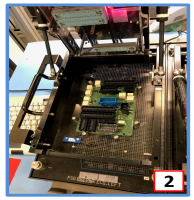
QUANDO IMPRESSO, ESTE DOCUMENTO NÃO É CONTROLADO A MENOS QUE SEJA IDENTIFICADO COMO CONTROLADO PELO DCC (DOCUMENT CONTROL CENTER)

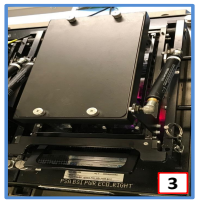
Notas Importantes:

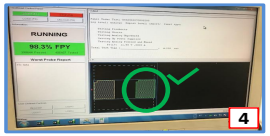
SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM DE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE.

Foto dos postos :









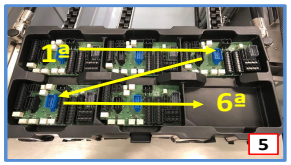


Figura 121 - Instrução de Trabalho ICT.

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva: 04/10/2019 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 04/10/2019 **Page 1 de 3**

Processo / Modelo: COATING STAND-ALONE
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

Ao retirar a palete das máquinas de coating e ao colocar no dryer ter o cuidado de não inclinar a palete para o coating não escorrer.

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
	1	P1 Pegar placa e colocar no lado esquerdo da palete	2	1,2		
	2	P1 Pegar placa e colocar no lado direito da palete	2	1,2		
	3	P1 Colocar calcador	2	1,2		
	4	Pega palete e desloca-se para P2	2	1,2		
	5	P2 Colocar palete no buffer A	2	1,2		
	6	P2 Retirar palete finalizada do buffer B	2	1,2		
	7	Desloca-se para P3	2	1,2		
	8	P3 Colocar palete na posição livre do dryer, rodada no sentido oposto das que têm o processo completo	2	1,2		
	9	P3 Retira palete do dryer de acordo e pousa na bancada D	3	1,8		
	10	P3 Se dryer tem posição superior ou inferior livre, pressionar botão verde para avançar gaveta	2	1,2		
	11	Desloca-se para P1	1	0,6		
	12	P1 Retira calcador e coloca no suporte	2	1,2		
◇	13	P1 Retira placa do lado esquerdo, inspeciona sob a luz UV e coloca no blister	4	2,4		
◇	14	P1 Retira placa do lado direito,inspeciona sob a luz UV e coloca no blister	4	1,2		
	15	Quando tiver 2 blisters completos na base, estes devem ser colocados no carrinho para exaustão E	2	2,4		
		Total	34	20,4		

	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	04/10/2019		
Função:	MfgE		
Nome:	Tiago Silva		

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

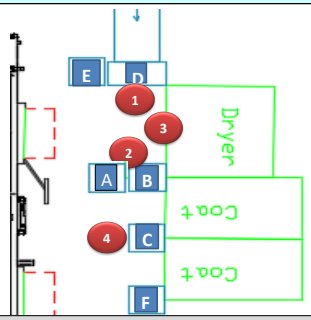
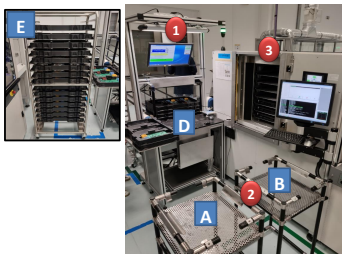


Foto do posto:



3

1ª Posição livre em cima:
Retira / Coloca
Dryer deve ser acionado

1ª Posição livre em baixo:
Retira / Coloca
Dryer deve ser acionado

Colocar paletes novas rodadas no sentido inverso das que têm o

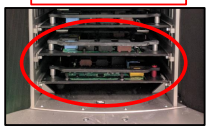


Figura 122 – Instrução de Trabalho Coating Stand Alone.

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva: 18/12/2019 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 18/12/2019 **Page 1 de 3**

Processo / Modelo: Montagem Final
Lugar: P2
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

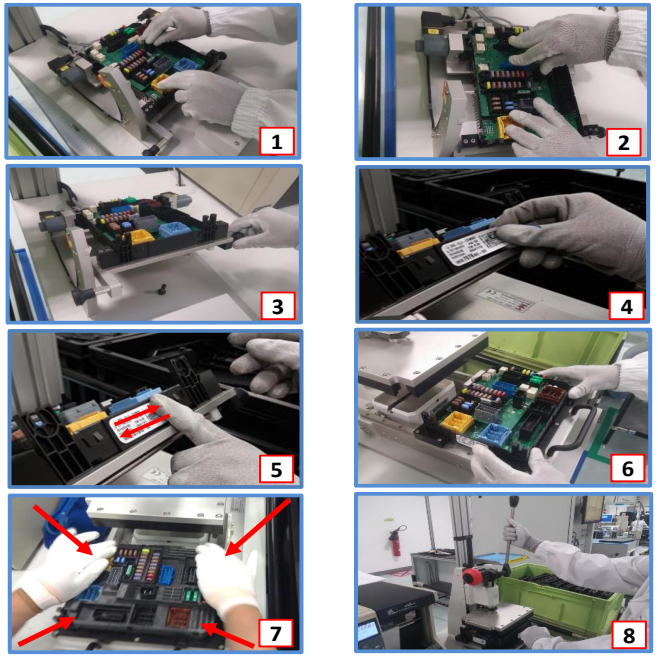
Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
	1	Retirar housing da caixa e colocar no dispositivo	4	2,4		
	2	Pegar na placa pelo conetor central e inserir no housing - Foto 1	4	2,4		
	3	Pressionar placa pelos conetores grandes - Foto 2	2	1,2		
	4	Levantar a alavanca para subir dispositivo - Foto 3	2	1,2		
	5	Retirar etiqueta da impressora	1	0,6		
⚠	6	Colar etiqueta no aparelho dentro dos limites do housing estabelecidos e de acordo com a foto - Foto 4	3	1,8		
⚠	8	Passar dedo 2x nos dois sentidos sobre a etiqueta para garantir boa colagem - Foto 5	2	1,2		
	7	Levantar alavanca, baixar dispositivo e rertirar aparelho	4	2,4		
	8	Colocar aparelho na base da prensa - Foto 6	2	1,2		
	9	Pegar no cover e posicionar no aparelho	4	2,4		
	10	Pressionar cover nos 4 cantos até ouvir o click - Foto 7	4	2,4		
	11	Fechar a gaveta e acionar a prensa - Foto 8	1	0,6		
	12	Abrir gaveta e retirar aparelho	3	1,8		
	13	Colocar aparelho no tapete	2	1,2		
		Total	38	22,8		

⚠ **Possibilidade de Ocorrência de Defeito**

Verificar correta etiquetagem: dentro dos limites definidos e que se encontra bem colada.



	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	18/12/2019		
Função:	MfgE		
Nome:	Nuno Bastos		

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

Figura 123 - Instrução de Trabalho Housing & Labelling.

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva: 04/12/2019 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 04/12/2019 **Page 1 de 3**

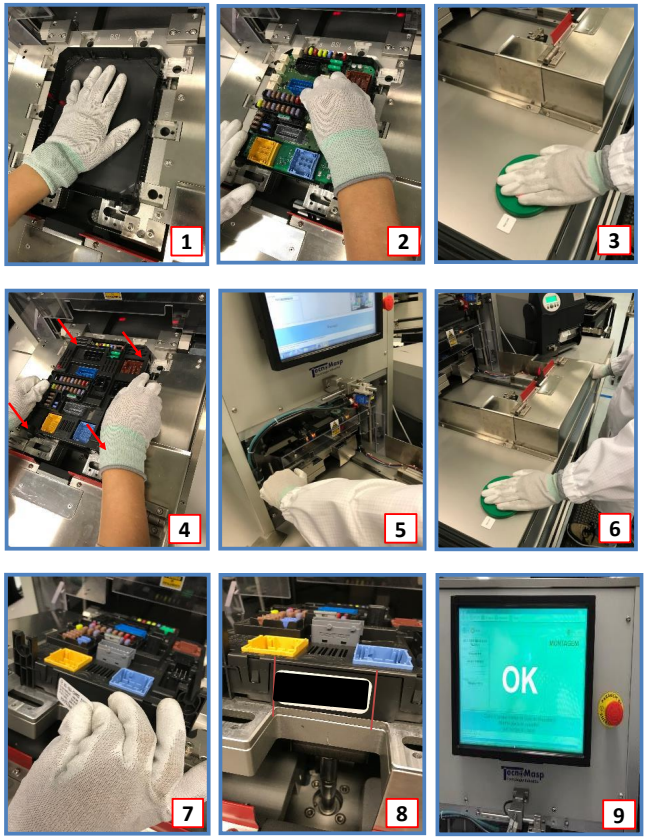
Processo / Modelo: .Montagem_Final_(MAQ.)
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
	1	Pegar no housing da caixa e colocar no dispositivo - Foto 1	4	2,4		
	2	Pegar na placa pelo conector central e inserir no housing pressionando-o até ouvir o click - Foto 2	6	3,6		
	3	Carregar no botão para fixar a base - Foto 3	2	1,2		
	4	Pegar no cover e colocar sobre o housing pressionando nos 4 cantos - Foto 4	4	2,4		
	5	Empurre a gaveta fechando-a - Foto 5	3	1,8		
	6	Carregar nos dois botões com as duas mãos em simultâmeo para realizar a prensagem - Foto 6	4	2,4		
	7	Abrir gaveta	3	1,8		
	8	Colocar etiqueta em conformidade - Fotos 7 e 8	2	1,2		
	9	Carregar nos dois botões com as duas mãos em simultâmeo para prensar etiqueta até o processo terminar - Foto 6	3	1,8		
	10	Aguardar OK no ecrã - Foto 9	1	0,6		
	11	Retirar o módulo e colocar no tapete	4	2,4		
		Total	36	21,6		

	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	04/12/2019		
Função:	MfgE		
Nome:	Nuno Bastos		



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

Figura 124 - Instrução de Trabalho Housing & Labelling Máquina Nova.

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva: 18/12/2019 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 09/01/2020 **Page 1 de 3**

Processo / Modelo: .Embalagem
Lugar: P6
Ref. Doc.: Verificar que o código 2D não tem falhas - Foto 1
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

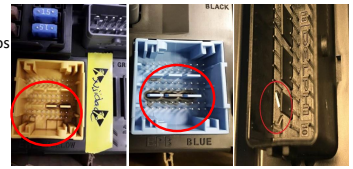
Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

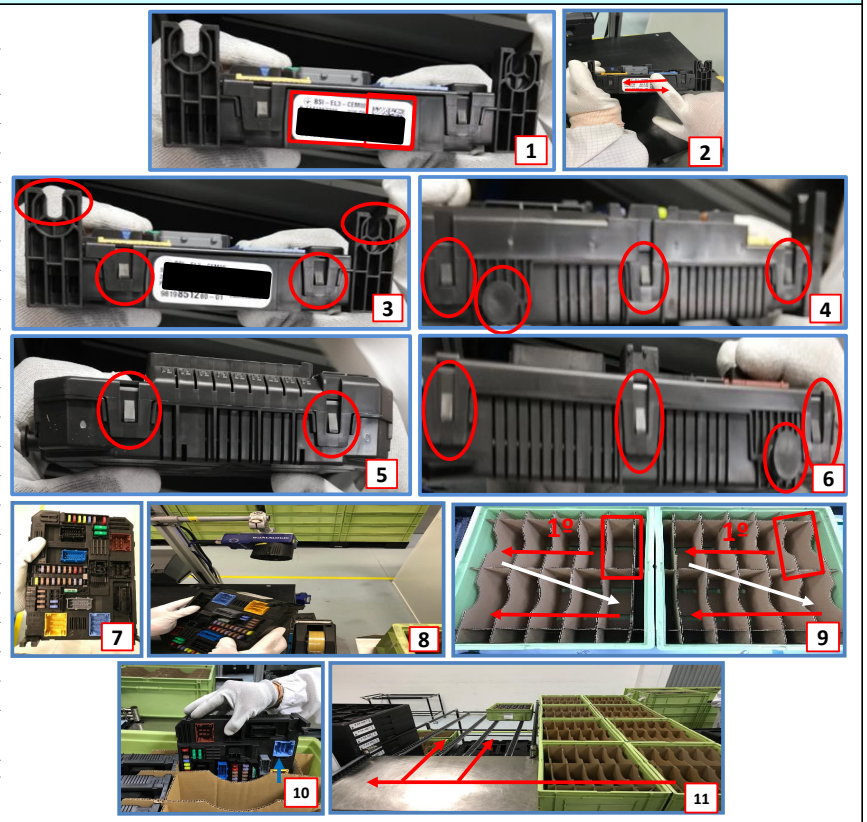
Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
	1	Pegar módulo do buffer intermédio	2	1,2		
◇	2	Verificar que etiqueta se encontra bem colada (não levantada) e dentro da posição assinalda - Foto 1	2	1,2		
◇	3	Verificar que o código 2D não tem falhas - Foto 1	2	1,2		
	4	Passar o dedo 2x no mesmo sentido sobre a etiqueta para garantir boa colagem - Foto 2	2	1,2		
◇	5	Inspecionar face frontal, verificando 2x snaps e 2x pinos de guiamento - Foto 3	2	1,2		
◇	6	Inspecionar face lateral esquerda, verificando 3x snaps e 1x orelha - Foto 4	2	1,2		
◇	7	Inspecionar face posterior, verificando 2x snaps - Foto 5	2	1,2		
◇	8	Inspecionar face lateral direita, verificando 3x snaps e 1x orelha - Foto 6	2	1,2		
⚠	9	Inspecionar parte frontal do modulo verificando que não há presença de anomalias - Foto 7 (ver em baixo possíveis defeitos nos conetores)	2	1,2		
	10	Ler código do aprelho - Foto 8	5	3,0		
	11	Colocar na caixa pela ordem indicada e da forma indicada (conector azul para cima) - Foto 9 e 10	2	1,2		
	12	Empurrar o conjunto de embalagens para a direita e depois para a frente, conforme indicado - Foto 11	6	3,6		
		Total	31	18,6		

Possibilidade de Ocorrência de Defeito

Verificar que os pinos não se encontram tortos e não há presença de sujidade.



	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	18/12/2019		
Função:	MfgE		
Nome:	Nuno Bastos		



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

Figura 125 - Instrução de Trabalho Posto de Embalamento

Apêndice IV – WCT Coating Line

APTIV

Work Combination Table

Project: Produto "A" - Antes

Date:

Line Name/Process Name:

Max Operator Cycle Time:	18 sec / 1 piece(s)
Takt Time (TT):	18 sec / 1 piece(s)
Number of Pieces per Cycle:	1 pc/cycle
Design Cycle Time (ATT):	18 sec / 1 piece(s)

To add rows for additional elements: Copy entire row, then Insert Copied Cells.

Hand Pattern - **Optional Input**: Left Hand, Both Hands, Right Hand

Task ID		Work Elements	# of Motions (Optional)	Manual Work	Machine Element Time	Walk Time	Wait for Machine	Op #	Clock (Stop Time)
1	COATING	Retirar Calcador da palete	2	1,2				1	1,2
2		Pousar calcador da base	2	1,2				1	2,4
3		Retirar placa do lado diereito, isnpeciona sob a luz UV e coloca no blister	4	2,4				1	4,8
4		Retira placa do lado esquerdo, inspeciona sob a luz UV e coloca no blister	4	2,4				1	7,2
5		Pega placa e coloca do lado direito da palete	3	1,8				1	9,0
6		Pega placa e coloca do lado esquerdo da palete	3	1,8				1	10,8
7		Colocar calcador na palete	2	1,2				1	12,0
8		Pegar no scanner para ler as placas	1	0,6				1	12,6
9		Pressiona botão verde para avançar a palete	1	0,6				1	13,2
10		Quando tiver 2 blisters completos na base, estes devem ser colocados no carrinho para exaustão	8	4,8				1	18,0
11									
		Total Times:	18	18,0					

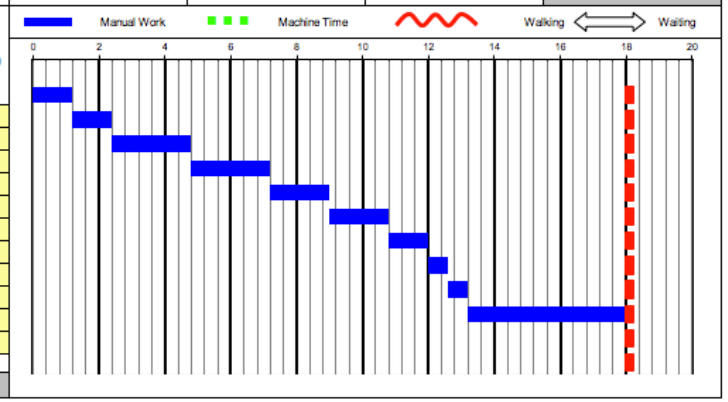


Figura 126 - WCT Coating Line Antes.

APTIV

Work Combination Table

Project: _____ **Date:** _____

Line Name/Process Name:

Max Operator Cycle Time:	16 sec / 1 piece(s)
Takt Time (TT):	16 sec / 1 piece(s)
Number of Pieces per Cycle:	1 pc/cycle
Design Cycle Time (ATT):	16 sec / 1 piece(s)

Manual Work · Machine Time · Walking · Waiting

To add rows for additional elements: Copy entire row, then Insert Copied Cells.

Task ID	Work Elements (Hand Pattern - Optional Input: Left Hand / Both Hands / Right Hand)	# of Motions (Optional)	Manual Work	Machine Element Time	Walk Time	Forced Wait for	Op #	Operator Clock (Stop Time)
1	COATING — Verificar que o sistema de exaustão está em funcionamento - fita em movimento						1	
2	Retirar placa do lado diereito, isnpeciona sob a luz UV e coloca no blister	4	2,4				1	2,4
3	Retirar placa do lado esquerdo, inspecionar sob a luz UV e cooca no blister	4	2,4				1	4,8
4	Pega placa e coloca do lado direito da palete	3	1,8				1	6,6
5	Pega placa e coloca do lado esquerdo da palete	3	1,8				1	8,4
6	Retirar calcador da próxima palete e colocar na tual	2	1,2				1	9,6
7	Pressiona botão vermelho para ler as placas	1	0,6				1	10,2
8	Pressiona botão verde para avançar a palete	1	0,6				1	10,8
9	Quando tiver 2 blisters completos na base, estes devem ser colocados no carrinho para exaustão	8	4,8				1	15,6
10								
	Total Times:	15,6	15,6					

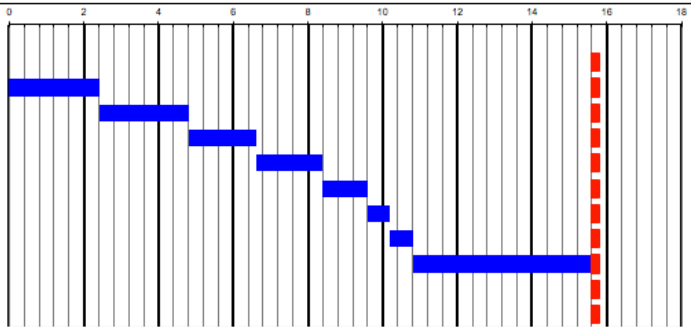


Figura 127 - WCT Coating Line Depois.

Apêndice V - Tabelas Cálculo de Capacidades

Tabela 59 - Cálculo de Capacidades Atual.

	POWER BOARD				ELECTRONIC BOARD			Eletronic board + Power board				
Process step	LASER MARKING	AUT. THT	ICT PWR	AUT. FUSE INSERTION	CLEANING	COATING LINE ELECT	COATING STANDALONE	PRESS FIT	HOUSING ASSEMBLY	IO test	RF test	Packing
CT 100%	10,0	11,0	10,0	11,0	9,8	17,0	47,0	25,5	12,0	91,2	50,0	9,0
Machine	1	1	1	1	1	1	2	3	1,5	7	4	1
CT	10	11	10	11	9,8			8,5	8	13	12,5	9
CT bootleneck	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
OE	95%	85%	95%	85%	95%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Sec per 5,33days avaliable	390735	349605	390735	349605	390735	362070	362070	370170	370170	370170	370170	370170
Sec per 6days avaliable	442833	396219	442833	396219	442833	410346	410346	419526	419526	419526	419526	419526
						21298,23529	15407,23404					
Weekly Capacity 5,33 days	39074	31782	39074	31782	39871	36705		43549	46271	28412	29614	41130
	7815	6356	7815	6356	7974	7341		8710	9254	5682	5923	8226
BDR		12%		16%		17%		8%				
Utilization process capacity	73%	89%	73%	89%	71%	77%		65%	61%	100%	96%	

Tabela 60 - Cálculo de Capacidades Futuro.

	POWER BOARD				ELECTRONIC BOARD			Eletronic board + Power board				
Process step	LASER MARKING	AUT. THT	ICT PWR	AUT. FUSE INSERTION	CLEANING	COATING LINE ELECT	COATING STANDALONE	PRESS FIT	HOUSING ASSEMBLY	IO test	RF test	Packing
CT 100%	10,0	11,0	10,0	11,0	9,8	17,0	47,0	25,5	12,0	91,2	50,0	9,0
Machine	1	1	1	1	1	1	1	2	1	7	4	1
OE	95%	85%	95%	85%	95%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Sec per 5,33days avaliable	390735	349605	390735	349605	390735	362070	362070	370170	370170	370170	370170	370170
Sec per 6days avaliable	442833	396219	442833	396219	442833	410346	410346	419526	419526	419526	419526	419526
						21298,23529	7703,617021					
Weekly Capacity 5,33 days	39074	31782	39074	31782	39871	29002		29033	30848	28412	29614	41130
	7815	6356	7815	6356	7974	5800		5807	6170	5682	5923	8226
BDR		12%		16%		17%		8%				
Utilization process capacity	73%	89%	73%	89%	71%	98%		98%	92%	100%	96%	69%

Apêndice VI – Tabelas de Tempos para ICT e Fuse Insertion

Tabela 61 - Tempos Operações Fuse Insertion.

Operações (Fuse Insertion)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Pegar Placa do tabuleiro e passar no scanner	2,05	1,92	2,15	1,55	1,57	1,56	1,9	1,9	2,01	1,92	**1,853**
Colocar na palete	1,42	1,1	0,87	1,02	1,11	1,12	1,1	1,34	1,24	1,11	**1,143**
Pegar Placa do tabuleiro e passar no scanner	1,42	0,96	0,96	0,77	1,21	1,3	1,22	1,6	1,34	1,42	**1,22**
Colocar Placa do lado esquerdo da palete	0,91	1,01	1,18	1,08	1,13	0,77	0,97	1,49	1,14	1,24	**1,092**
Carregar no botão verde para avançar	0,75	0,65	0,65	0,6	0,64	0,63	0,55	0,73	0,91	0,91	**0,702**
Aguardar palete pronta à frente	7,52	12,09	7,51	7,73	11,01	10,27	11,81	10,21	9,95	9,8	**9,79**
Retirar placas da palete pronta e colcocar no tabuleiro	3,42	3,84	3,66	3,57	3,53	3,75	3,91	4,37	3,74	4,21	**3,8**

Manual
9,81
Máquina
9,79

Tabela 62 - Tempos Operações ICT.

Operação (ICT)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pegar placa do blister pela ordem apresentada na foto e colocar na base livre	1,12	1,58	1,92	2,16	1,29	1,62	1,91	1,65	1,78	1,64	
Fechar a tampa	0,56	0,56	0,46	0,68	0,55	0,81	0,74	1,05	0,73	0,56	Média
Esperar pelo fim do processo na outra base	6,1	5,31	4,78	4,91	5,01	4,55	3,58	5,36	5,46	4,35	4,941
Abrir a tampa	0,99	0,61	0,6	0,87	0,74	0,79	0,52	0,7	0,77	0,52	
Retirar a placa da base e colocar no blister pela ordem apresentada na foto	2,08	2,15	1,97	1,92	1,96	1,79	1,79	2,05	2,35	1,65	Média
Total	10,85	10,21	9,73	10,54	9,55	9,56	8,54	10,81	11,09	8,72	9,96

T. Manual
5,02
T. Morto
4,94

Apêndice VII – WCTs Integração ICT com Fuse Insertion Atual e Futura (Simulação)

• APTIV •

Work Combination Table

Project: Produto "A" - Projeção Integração ICT/FI - Atual

Date:

Line Name/Process Name:

Max Operator Cycle Time:	30 sec / 1 piece(s)	Takt Time (TT):	30 sec / 1 piece(s)
Number of Pieces per Cycle:	1 pc/cycle	Design Cycle Time (ATT):	30 sec / 1 piece(s)

To add rows for additional elements: Copy entire row, then Insert Copied Cells.

Work Elements — Hand Pattern - **Optional Input**: Left Hand, Both Hands, Right Hand

Task ID		Work Elements	# of Motions (Optional)	Manual Work	Machine Element Time	Walk Time	Forced Wait for	Op #	Operator Clock (Stop Time)
1		Pressionar botão verde para avançar palete	2	1,2				1	1,2
2		Aguardar avanço da palete			9,8			1	1,2
3	ICT	Pegar na placa 1 do tabuleiro	2	1,2				4	2,4
4		Colocar placa 1 no ICT 1	2	1,2				4	3,6
5		Fechar a tampa	2	1,2				4	4,8
6		Tempo ICT 1			5,5			4	4,8
7		Pegar na placa 2 do tabuleiro	2	1,2				4	6,0
8		Colocar placa 2 no ICT 2	2	1,2				4	7,2
9		Fechar tampa	2	1,2				4	8,4
10		Abrir tampa do ICT 1	2	1,2				4	11,5
11		Tempo ICT 2			5,5			4	11,5
12		Colocar a placa 1 no buffer intermédio	2	1,2				4	12,7
13		Abrir a tampa do ICT 2	2	1,2				4	18,2
14		Colocar a placa 2 no buffer intermédio	2	1,2				4	19,4
15	Fuse Insertion	Retirar placas da palete e colocar no blister	4	2,4				4	21,8
16		Pegar na placa e ler com scanner	4	2,4				4	24,2
17		Inserir placa do lado direito da palete	2	1,2				4	25,4
18		Pegar na segunda placa e ler com scanner	4	2,4				4	27,8
19		Inserir Placa do lado esquerdo da palete	2	1,2				4	29,0
20		Pressionar botão verde para avançar palete	2	1,2				4	30,2
		Total Times:	24	24,0					

1 Cycle: 29

Cycle per unit: 14,5

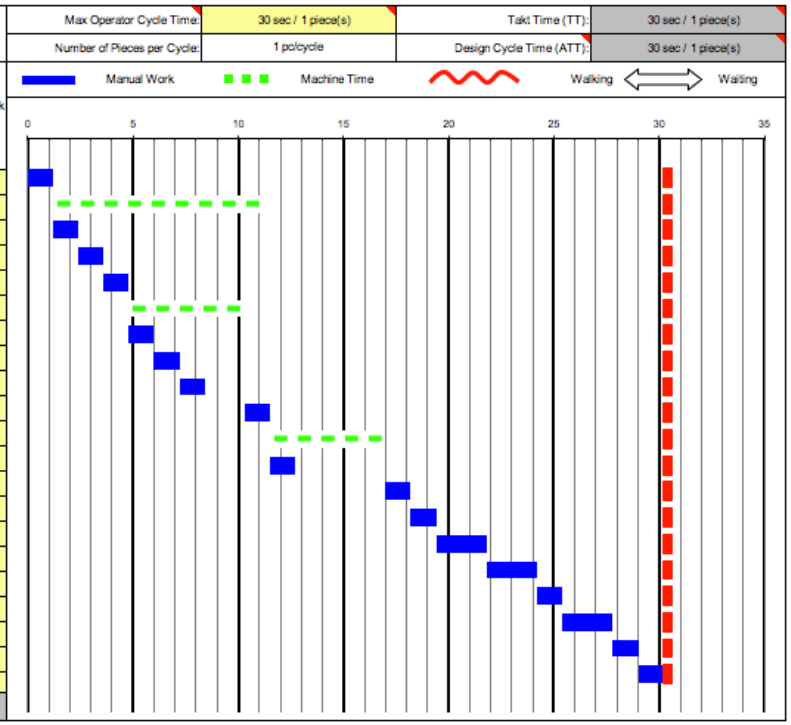


Figura 128 - WCT Integração ICT com Fuse Insertion considerando o funcionamento atual.

APTIV

Work Combination Table

Project: Produto "A" - Projeção Integração ICT/FI - Futura

Date:

Line Name/Process Name:

Max Operator Cycle Time:	48 sec / 1 piece(s)	Takt Time (TT):	48 sec / 1 piece(s)
Number of Pieces per Cycle:	1 pc/cycle	Design Cycle Time (ATT):	48 sec / 1 piece(s)

Manual Work · Machine Time · Walking · Waiting

To add rows for additional elements: Copy entire row, then Insert Copied Cells.

Work Elements — Hand Pattern - Optional Input: Left Hand, Both Hands, Right Hand

Task ID	Work Elements	# of Motions	Manual Work	Machine Element Time	Walk Time	Forced Wait for	Op #	Operator Clock
1	ICT							
2	Retirar placas do ICT e colocar no buffer intermédio	4	2,4				4	2,4
3	Pegar nas placas do tabuleiro	2	1,2				4	3,6
4	Colocar as placas no ICT	3	1,8				4	5,4
5	Fechar as tampas	3	1,8				4	7,2
6	Tempo ICT direita			5,5			4	7,2
7	Tempo ICT esquerda			5,5			4	12,7
8	Fuse Insertion						4	12,7
9	Retirar 2 placas da palete e colocar no blister	4	2,4				4	9,6
10	Pegar na placa do buffer intermédio e lê com scanner	4	2,4				4	12,0
11	Insere placa do lado direito da palete	2	1,2				4	13,2
12	Pega na segunda placa e lê com scanner	4	2,4				4	15,6
13	Inserir Placa do lado esquerdo da palete	2	1,2				4	16,8
14	Pressionar botão verde para avançar palete	2	1,2				4	18,0
15	Aguardar avanço da palete			9,8			4	18,0
16	ICT						4	18,0
17	Retirar placas do ICT e colocar no buffer intermédio	4	2,4				4	20,6
18	Pegar nas placas do tabuleiro	2	1,2				4	21,8
19	Colocar as placas no ICT	3	1,8				4	23,6
20	Fechar as tampas	3	1,8				4	25,4
21	Tempo ICT direita			5,5			4	25,4
22	Tempo ICT esquerda			5,5			4	30,9
23	Fuse Insertion						4	30,9
24	Retirar 2 placas da palete e colocar no blister	4	2,4				4	30,2
25	Pegar na placa do buffer intermédio e lê com scanner	4	2,4				4	32,6
26	Insere placa do lado direito da palete	2	1,2				4	33,8
27	Pega na segunda placa e lê com scanner	4	2,4				4	36,2
28	Inserir Placa do lado esquerdo da palete	2	1,2				4	37,4
29	Pressionar botão verde para avançar palete	2	1,2				4	38,6
30	Aguardar avanço da palete			9,8			4	38,6
	Total Times:	36	36,0					

1 Cycle: 20,6

Cycle per unit: 10,3

Figura 129 - WCT Integração ICT com Fuse Insertion considerando alteração no ICT (Simulação/Previsão).

Apêndice VIII – Estudo Rota Logística Futura

Tabela 63 - Cálculos Sequência Rota Logística.

	Material	Package	TC (seg)	Quant./Tabuleiro	Q. Tab/Rampa	Total Placas/Rampa	TC/Rampa (seg)	TC/Rampa (min)	Ranking		Ranking
Coating Line-> Buffer	Placa Eletrónica	Tabuleiro	17	4	18	72	1224	20,4	-	Coating Line-> Buffer	-
Coating SA -> Buffer	Placa Eletrónica	Tabuleiro	47	4	18	72	3384	56,4	-	Coating SA -> Buffer	-
Buffer -> Press-Fit	Placa Eletrónica	Tabuleiro	25	4	9	36	900	15	2	Buffer -> Press-Fit	B
	Placa Eletrónica	Tabuleiro	25	4	9	36	900	15	2		
Laser -> THT	Placa Power	Tabuleiro	10,5	120	4	480	5040	84	10	Laser -> THT	E
THT -> ICT	Placa Power	Tabuleiro	9	6	9	54	486	8,1	1	THT -> ICT	A
F-Insertion -> Press-Fit	Placa Power	Tabuleiro	25	6	16	96	2400	40	7	F-Insertion -> Press-Fit	G
	Placa Power	Tabuleiro	25	6	16	96	2400	40	7		
THT 012 Fuse Block 9	Fuse Block 9	Caixa						16,7	3	THT 012 Fuse Block 9	C
THT 011 Relay EM1	Relay em 1	Caixa						23,2	5	THT 011 Relay EM1	E
THT 013 Header	Header	Caixa			Extra 1			25	6	THT 013 Header	F
THT 012 Fuse Block 4	Fuse Block 4	Caixa						50	8	THT 012 Fuse Block 4	H
THT 013 Relay	Relay	Caixa						80	9	THT 013 Relay	I
THT 011 Fuse 2-ato	Fuse 2-ato	Caixa						125	11	THT 011 Fuse 2-ato	J
Press-Fit Conectores	Conectores	Tubo						21	4	Press-Fit Conectores	D
										TT (min)	8,1

Tabela 64 - Cálculo "Extra 1" – THTs.

THT 013	Header	Relay
	25 pc/tubo	40 pc/tubo
	1 p/placa	1 p/placa
	6 tubos	12 tubos
TC Escoamento (min)	25	80

THT 012	Fuse Block 4	Fuse Block 9
	600 pcs/cx	300 pcs/cx
	2 p/placa	3 p/placa
TC Escoamento (min)	50	16,7

THT 011	Fuse 2-ato	Relay em 1
	750/cx	38 p/tubo
	1 placa	3 placa
		11 tubos
TC Escoamento (min)	125	23,2

Tabela 65 - TC Conectores Press-Fit.

Conectores Press-Fit	
150	Conectores/par
50	Placas
1250	segundos
21	minutos

Tabela 66 - Tempo Circuito Rota Logística.

	Ranking	Tempo Circuito	Tempo Circuito
Coating Line-> Buffer	-	-	-
Coating SA -> Buffer	-	-	-
Buffer -> Press-Fit	B	351	351
Laser -> THT	E	5	5
THT -> ICT	A	22	22
F-Insertion -> Press-Fit	G	30	30
THT 012 Fuse Block 9	C	240	0
THT 011 Relay EM1	E		
THT 013 Header	F		
THT 012 Fuse Block 4	H		
THT 013 Relay	I		
THT 011 Fuse 2-ato	J		
Press-Fit Conectores	D	60	60
TT (min)	8,1	11,8	7,8

Tabela 67 - Tempos Operadores de Máquina.

	Operadores Máq.	
	Tempo Morto (seg.)	Tempo Trabalho (seg.)
	137	66
	92	27
	37	7
	88	44,55
	23	70
	45	15,63
	71	88
	15	203
	124	96
	35	144
Tempo Médio	67	76

Apêndice IX – Aplicação Método Direct Cluster Analysis

Matriz Inicial (já arranjada de colunas)

		Produtos		
		BSI	BCM Vigo	# 1s (N)
Máquinas	Laser	1		1
	Limpeza	1		1
	Coating	1	1	2
	THT	1		1
	ICT	1		1
	Fuse Insertion	1	1	2
	PressFit	1		1
	Etiquetagem	1		1
	FT	1	1	2
	RF	1		1
	Packing	1	1	2
	CMI	1	1	2
	MOL	1	1	2
	Heat Stake		1	1
	PressFit V		1	1
	Etiquetagem V		1	1
	# 1s (M)	13	9	

Arranjo Linhas

	BSI	BCM Vigo	# 1s (N)
Laser	1		1
Limpeza	1		1
THT	1		1
ICT	1		1
PressFit	1		1
Etiquetagem	1		1
RF	1		1
Heat Stake		1	1
PressFit V		1	1
Etiquetagem V		1	1
Coating	1	1	2
Fuse Insertion	1	1	2
FT	1	1	2
Packing	1	1	2
CMI	1	1	2
MOL	1	1	2
# 1s (M)	12	9	

Matriz Primeira Coluna (Passo 2)

	BSI	BCM Vigo
Laser	1	
Limpeza	1	
THT	1	
ICT	1	
PressFit	1	
Etiquetagem	1	
RF	1	
Coating	1	1
Fuse Insertion	1	1
FT	1	1
Packing	1	1
CMI	1	1
MOL	1	1
Heat Stake		1
PressFit V		1
Etiquetagem V		1

Matriz Segunda coluna (Passo 2)

	BSI	BCM Vigo
Coating	1	1
Fuse Insertion	1	1
FT	1	1
Packing	1	1
CMI	1	1
MOL	1	1
Heat Stake		1
PressFit V		1
Etiquetagem V		1
Laser	1	
Limpeza	1	
THT	1	
ICT	1	
PressFit	1	
Etiquetagem	1	
RF	1	

Figura 130 - Aplicação Método DCA.

Apêndice X - Instruções de Trabalho para o Produto "B"

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva: 26/08/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 19/09/2020 **Page 1 de 3**

Processo / Modelo: COATING STAND-ALONE
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

Ao retirar a palete das máquinas de coating e ao colocar no dryer ter o cuidado de não inclinar a palete para o coating não escorrer.

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
	1	P1 Pegar na placa e colocar no lado esquerdo da palete	4	2,4		
	2	P1 Pegar na placa e colocar no lado direito da palete	4	2,4		
	3	P1 Colocar calcador	2	1,2		
	4	Pegar na palete e deslocar para P2	2	1,2		
	5	P2 Colocar palete no buffer A	2	1,2		
	6	P2 Retirar palete finalizada e colocar no buffer B	2	1,2		
	7	P2 Pegar palete do buffer A e colocar na máquina	2	1,2		
	8	P2 Pressionar botão verde 2x para iniciar processo (garantir que máquina inicía)	2	1,2		
	9	Pega palete do buffer B e desloca-se para P3	3	1,8		
	10	P3 Colocar palete na posição livre do dryer, rodada no sentido oposto das que têm o processo completo	3	1,8		
	11	P3 Retira palete do dryer de acordo com a Foto 1 e pousa na bancada C	1	0,6		
	12	P3 Se dryer tem posição superior ou inferior livre, pressionar botão verde para avançar gaveta	2	1,2		
	13	Desloca-se para P1	5	3,0		
◇	14	P1 Retira placa do lado esquerdo, inspecionar sob luz UV e colocar no blister	6	3,6		
◇	15	P1 Retirar placa do lado direito, inspecionar sob a luz UV e colocar no blister	6	3,6		
	16	P1 Quando tiver 3 blisters completos na base, estes devem ser colocados no carrinho E para exautão	8	4,8		
		Total	54	32,4		

	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/08/20		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		

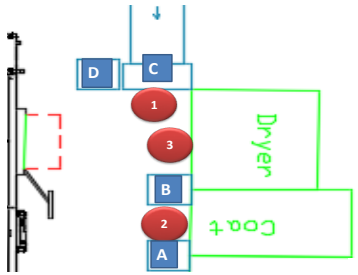
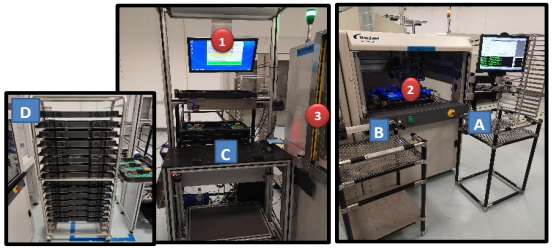


Foto do posto:



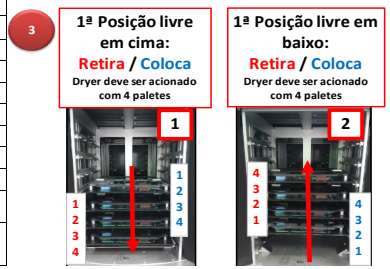


Figura 131 - Instrução de Trabalho Coating - Produto "B".

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

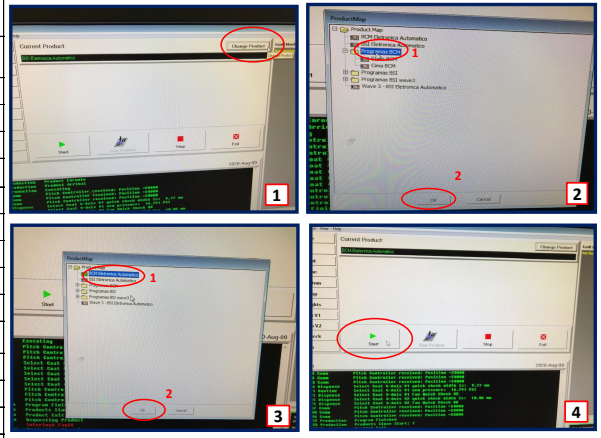
Effective Date: / Data Efectiva: 02/07/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 11/09/2020 **Page 1 de 3**

Processo / Modelo: Coating.ChangeoverIn.P1
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
		Carregar em "Change Product" - Foto 1				
	1	Selecionar "Programas BCM" - Foto 2 (1)	4	2,4		
	2	Carregar em "OK" - Foto 2 (2)	2	1,2		
	3	Carregar em "BCM Eletronica Automática" - Foto 3 (1)	5	3,0		
	4	Carregar em "OK" - Foto 3 (2)	4	2,4		
	5	Carregar em "START" - Foto 4	1200	720,0		
	6	Introduzir a palete do BCM Vigo e iniciar a produção	4	2,4		
		Total	1219	731,4		



	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/06/2020		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		

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

Figura 132 - Instrução de Trabalho Changeover Coating para o Produto "B".

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

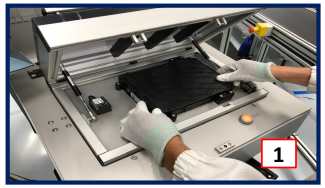
Effective Date: / Data Efectiva: 26/08/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 26/08/2020 **Page 1 de 3**

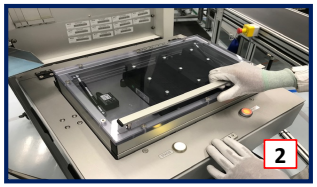
Processo / Modelo: .TesteFuncional
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
	1	Pegar no aparelho e inserir no equipamento - Foto 1	4	2,4		
	2	Fechar a tampa para iniciar o processo - Foto 2	2	1,2		
	3	Esperar pelo fim do processo			20	
	4	Abrir tampa, retirar aparelho e colocar para o posto seguinte	6	3,6		
		Total	12	7,2	20	





	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/08/20		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		

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

Figura 133 - Instrução de Trabalho Functional Test para o Produto "B".

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

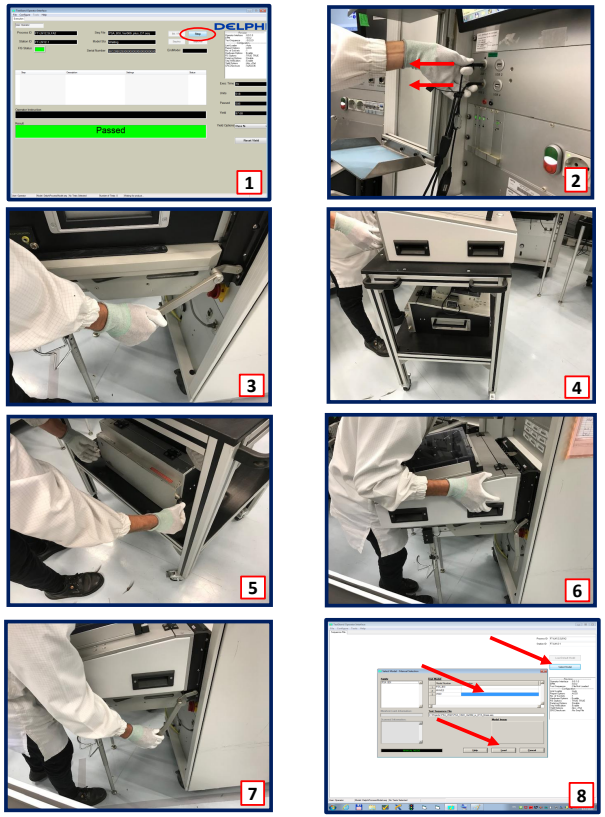
Effective Date: / Data Efectiva: 13/08/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 13/09/2020 **Page 1 de 3**

Processo / Modelo: FunctionalTest.Changeover.P1
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
		No software carregar em "STOP" - Foto 1	2	1,2		
	1	Desconectar os dois cabos - Foto 2 (1)	2	1,2		
	2	Empurrar a alavanca para baixo de forma a desconectar a base do equipamento - Foto 3	3	1,8		
	3	Fechar a tampa da base	4	2,4		
	4	Agarrar a base pelas pegas e colocar no carrinho de changeover na prateleira inferior - Foto 4	5	3,0		
	5	Na base nova retirar a tampa de proteção dos conectores e colocar na base antiga - Foto 5	5	3,0		
	6	Agarrar a base nova pelas pegas colocar no FT - Foto 6	5	3,0		
	7	Puxar a alavanca de forma a prender a noba base ao equipamento - Foto 7	3	1,8		
	8	No Software selecionar "Select Model" e na nova janela selecionar o modelo novo finalizando a carregar em "Load" - Foto 8	4	2,4		
		Total	33	19,8		



	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/06/2020		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		

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

Figura 134 - Instrução de Trabalho Changeover Functional Test para o Produto "B".

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

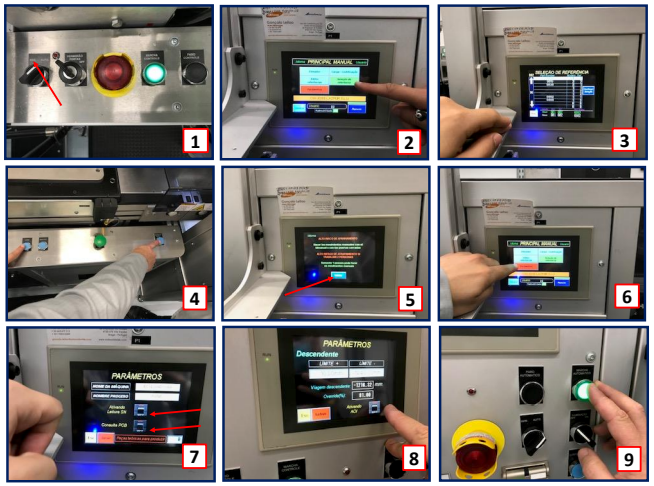
Effective Date: / Data Efectiva: 19/08/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 19/09/2020 **Page 1 de 3**

Processo / Modelo: Fuse_Insertion.ChangeoverIn.P1
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
		COLOCAÇÃO NOVAS PALETES				
	1	No posto de trabalho rodar o botão seletor para o modo MANUAL validando no ecrã principal premindo o respetivo campo	4	2,4		
	2	Proceder à seleção da referência selecionando o seu campo e inserindo o código para prosseguir - 1234 - OK. - Foto 1	2	1,2		
	3	Selecionar a referência e de seguida confirmar a sua seleção (Vigo - 9838) - Foto 2	5	3,0		
	4	Colocar as novas paletes e retirar as paletes do produto anterior - no fim premir ESC	4	2,4		
	5	Aguardar 10 segundos para o equipamento processar a alteração	1200	720,0		
	6	Novamente nos botões seletores pressionar simultâneamente o botão ATIVAR e o botão CONFIRMAR MOVIMENTO MANUAL - Foto 4	4	2,4		
	7	Validar no ecrã pressionando o respetivo campo - Foto 5	2	1,2		
	8	Na botoneira mudar o comutador para o modo AUTO e pressionar o botão ATIVAR	4	2,4		
	9	**RASTREABILIDADE (Desativar)**				
	10	No menu principal pressionar o campo PARÂMETROS - Foto 6	2	1,2		
	11	Inserir o código - 1234 - OK	4	2,4		
	12	Colocar em OFF os dois parametros visíveis e premir em SALVAR - Foto 7	4	2,4		
	13	Na botoneira colocar o botão seletor em modo AUTO e pressionar o botão ATIVAR	4	2,4		
	14	**MÁQUINAS INDIVIDUAIS**				
	15	Mudar o botão seletor para Manual e validar no ecrã	4	2,4		
	16	No menu "Parâmetros" desativar rastreabilidade colocando em OFF os respetivos campos - Foto 7	6	3,6		
		Salvar, inserir código - 1234- e colocar o botão seletor em MARCHA AUTO - Foto 9	4	2,4		
		MÁQUINA MODUS				
		Mudar botão seletor para Manual e validar no ecrã	4	2,4		
		No menu "Parâmetros" desativar AOI colocando em OFF o seu campo, premindo SALVAR de seguida e colocar em MARCHA AUTO - Foto 8 e 9	8	4,8		
		Total	1265	759		



	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/06/2020		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		

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

Figura 135 - Instrução de Trabalho Changeover Fuse Insertion para o Produto "B".

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva: 26/06/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 19/09/2020 **Page 1 de 3**

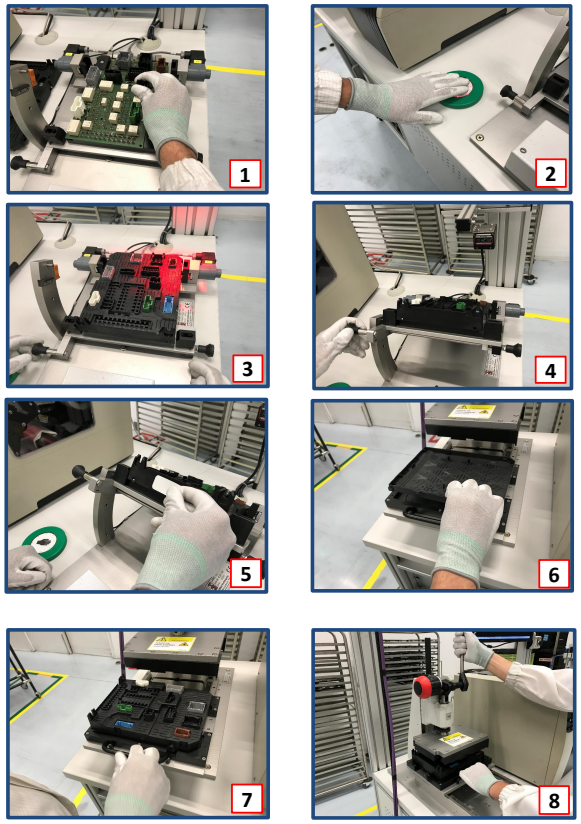
Processo / Modelo: .Montagem_Final.P1
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
	1	Pegar na placa pelos conetores e inserir na base - Foto 1	4	2,4		
	2	Pressionar botão para acionar leitura da placa - Foto 2	2	1,2		
	3	Retirar housing da caixa e colocar no dispositivo - Foto 3	4	2,4		
	4	Levantar a alavanca para subir dispositivo - Foto 4	2	1,2		
	5	Retirar etiqueta da impressora	2	1,2		
◆	6	Colar etiqueta no aparelho dentro dos limites do housing estabelecidos e de acordo com a foto - Foto 5	3	1,8		
◆	7	Passar dedo 2x nos dois sentidos sobre a etiqueta para garantir boa colagem	2	1,2		
	8	Puxar alavanca, baixar dispositivo e rertirar aparelho	4	2,4		
	9	Pegar no cover e posicionar no aparelho - Foto 6	2	1,2		
	10	Colocar módulo sob a cover inferior - Foto 7	4	2,4		
	11	Pressionar cover nos 4 cantos até ouvir o click	4	2,4		
	12	Fechar a gaveta e acionar a prensa - Foto 8	2	1,2		
	13	Abrir gaveta e retirar aparelho	3	1,8		
	14	Colocar aparelho no posto seguinte	2	1,2		
		Total	40	24		

	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/06/2020		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		



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

Figura 136 - Instrução de Trabalho H&L para o Produto "B".

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva: 02/07/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 26/06/2020 **Page 1 de 3**

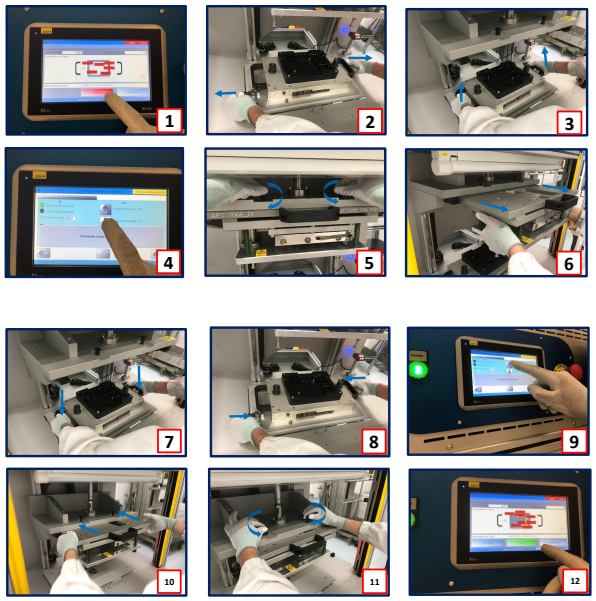
Processo / Modelo: .HeatStake.Changeover.P1
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
		RETIRAR CONJUNTO				
	1	Aceda ao menu pressionando o campo intitulado "Desligar" - Foto 1	2	1,2		
	2	Puxar os dois calcadores da base para fora - Foto 2	2	1,2		
	3	Retirar a base verticalmente pelas pegas existentes - Foto 3	6	3,6		
	4	Aceda através do ecrã ao menu que permite baixar a base superior manualmente até a uma posição que lhe seja confortável- Foto 4	2	1,2		
	5	Puxe os dois calcadores para fora rodando para a direita (isto permite que se fixem na posição de desaperto) - Foto 5	6	3,6		
	6	Assegure-se de que a base está fria	2	1,2		
	7	Apoie-se na base e na pega para puxar a base superior - Foto 6	6	3,6		
		COLOCAR CONJUNTO				
	8	Pegue na base correta e coloque-a na vertical de modo a encaixar nos guias existentes - Foto 7	4	2,4		
	9	Feche os os calcadores empurrando-os para dentro - Foto 8	2	1,2		
	10	Aceda através do ecrã ao menu que permite aceder aos comandos que subam a base superior, manualmente, até a uma posição que lhe seja confortável- Foto 9	2	1,2		
	11	Pegue na base superior apoiando-se na pega e na base empurrando até ao fundo através dos guias existentes - Foto 10	6	3,6		
	12	Feche os calcadores rodando-os para a esquerda e pressionando para baixo - Foto 11	2	1,2		
	13	Aceda ao menu pressionando o campo intitulado "Ligar" - Foto 12	2	1,2		
		Total	44	26,4		

	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/06/2020		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		



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

Figura 137 - Instrução de Trabalho Changeover Heat Stake para o Produto "B".

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

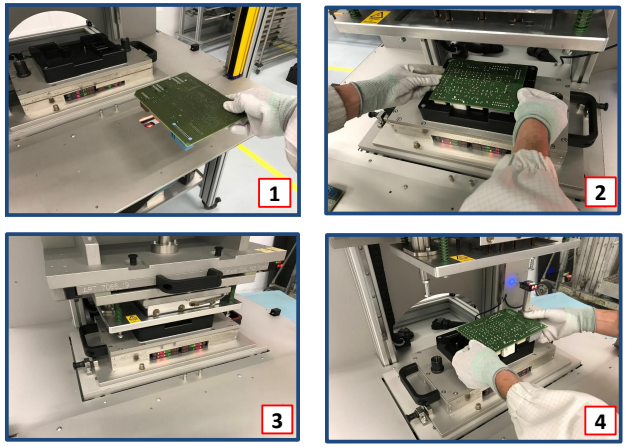
Effective Date: / Data Efectiva: 26/06/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 11/09/2020 **Page 1 de 3**

Processo / Modelo: HeatStake.P1
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
	1	Pegar na placa e proceder à sua leitura no scanner - Foto 1	4	2,4		
	2	Colocar placa corretamente virada para baixo na base - Foto 2	2	1,2		
	3	Remover os braços e mãos do compartimento para dar inicio ao processo - Foto 3	4	2,4		
	4	Retirar a placa verticalmente - Foto 4	2	1,2		
◇	5	Verificar que os pinos se encontram corretamnete prensados - Foto 5	2	1,2		
	6	Colocar a placa no tabuleiro para o posto seguinte - Foto 6	3	1,8		
		Total	17	10,2		



	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/06/2020		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		

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

Figura 138 - Instrução de Trabalho Heat-Stake para o Produto "B".

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva: 18/08/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 19/09/2020 **Page 1 de 3**

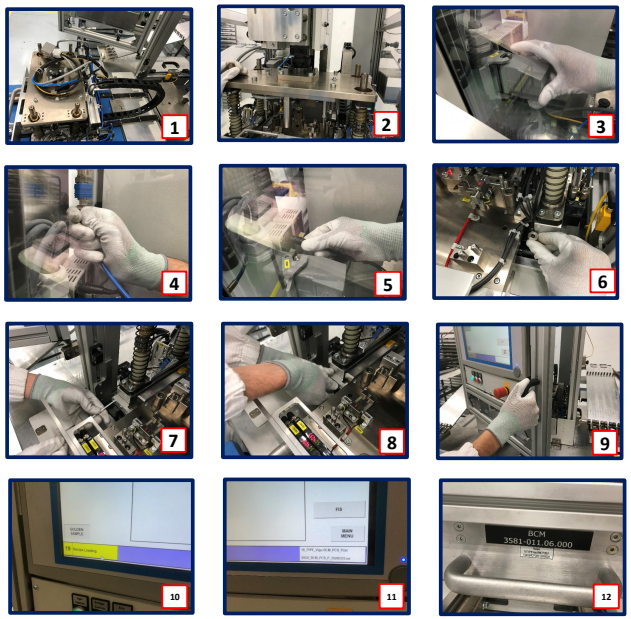
Processo / Modelo: Press-Fit.Changeover_IN.P1
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
		COLOCAR CONJUNTO				
	1	Alinhar as guias com a posição do Press-Fit para, de seguida, empurrar para dentro salvaguardando o encaixe superior- Foto 1 e 2	2	1,2		
	2	Conectar o conector Harting e fechar a patilha - Foto 3	4	2,4		
	3	Conectar o cabo azul do ar comprimido exercendo pressão para cima - Foto 4	4	2,4		
	4	Conectar os cabos dos scanners confirmando pela etiqueta a sua correta ligação - Foto 5	8	4,8		
	5	Aparafusar a base do Press-Fit - Foto 6 e 7	12	7,2		
	6	Aparafusar o travão da gaveta - Foto 7 e 8	8	4,8		
	7	Fechar a porta a tampa inferior do Press-Fit e a Porta - Foto 9	2	1,2		
	8	No ecrã carregar em Recipe Loading - Foto 10	2	1,2		
	9	Confirmar que a Legenda da base correponde à que aparece no ecrã - Foto 11 e 12	2	1,2		
	10	Carregar em Home e Start	2	1,2		
	11	Carregar em Auto e Start após aparecer a mensagem "Home Position Reached"	2	1,2		
		Total	48	28,8		

	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/06/2020		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		



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

Figura 139 - Instrução de Trabalho Changeover IN Press-Fit para o Produto "B".

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva: 19/08/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 19/09/2020 **Page 1 de 3**

Processo / Modelo: .Press-Fit.Changeover_OUT.P1

Lugar: P1

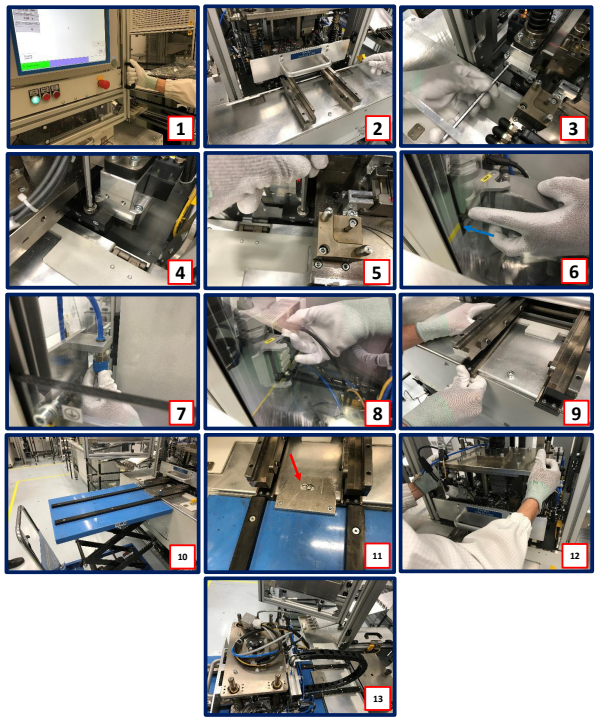
Ref. Doc.:

Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
		RETIRAR CONJUNTO				
	1	Abrir a porta do Press-Fit - Foto 1	2	1,2		
	2	Abrir a tampa inferior onde se situa o sensor amarelo - Foto 2	2	1,2		
	3	Desaparafusar o travão da gaveta - Foto 3	8	4,8		
	4	Desaparafusar a base do Press-Fit dos dois lados - esquerdo e direito - Foto 4 e 5	12	7,2		
	5	Desconecte o Harting Connector empurrando a patilha para o lado contrário - Foto 6	4	2,4		
	6	Desconecte o cabo azul do ar comprimido - Foto 7	4	2,4		
	7	Desconecte o cabo preto dos scanners - Foto 8	4	2,4		
	8	Utilize o carro hidráulico colocando os carris de extenção por baixo das guias do Press-Fit - Foto 9	8	4,8		
	9	Nivele o carro hidráulico encaixando o gancho frontal no parafuso existente no Press-Fit - Foto 10 e 11	8	4,8		
	10	Puxe o Press-Fit até toda a sua extensão se encontrar no carro hidráulico - Foto 12 e 13	8	4,8		
		Total	60	36		



	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/06/2020		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		

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

Figura 140 - Instrução de Trabalho Changeover OUT Press-Fit para o Produto "B".

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

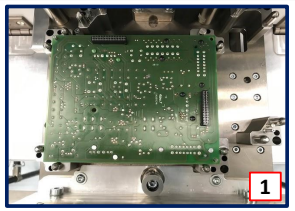
Effective Date: / Data Efectiva: 19/08/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 19/09/2020 **Page 1 de 3**

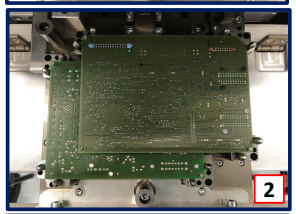
Processo / Modelo: PressFit.P&EB.P1
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

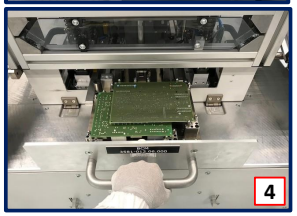
Notas Importantes:

SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
	1	Pegar na placa Power do blister e colocar na gaveta com os conectores virados para baixo - Foto 1	4	2,4		
	2	Retirar a placa Eletrónica do blister com os conectores virados para baixo	2	1,2		
	3	Inserir a placa Eletrónica na gaveta - Foto 2	2	1,2		
	4	Fechar a gaveta e aguardar pelo fim do processo - Foto 3	8	4,8		
	5	Abrir a gaveta até ao final e retirar a placa pelos conetores - Foto 4	8	4,8		
	6	Colocar o cunjunto no blister para o posto seguinte	2	1,2		
		Total	26	15,6		







	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/06/2020		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		

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

Figura 141 - Instrução de Trabalho Press-Fit Placa Eletrónica e Power para o Produto "B".

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date: / Data Efectiva: 19/09/2020 **Content Reviewed Date: / Data de Revisão:** 19/09/2020 **Page 1 de 3**

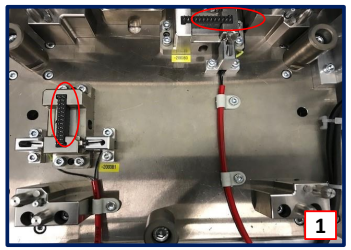
Processo / Modelo: PressFit.PB.P1
Lugar: P1
Ref. Doc.:
Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>

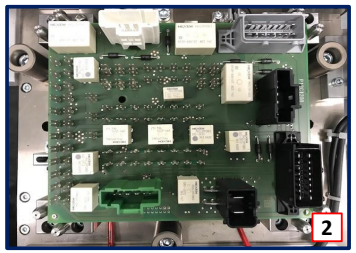
Notas Importantes:

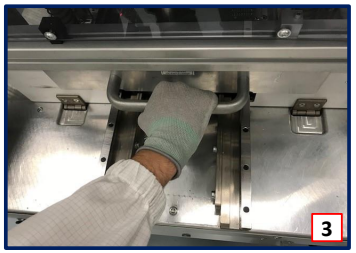
SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÁS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE

Job Elem. Sheet	Task ID	Elements (Mão Esquerda / Ambas Mãos / Mão Direita)	Element Time: Motion	Manual Work	Mach Time	Walk Time
	1	Pegar no conetor preto do lado esquerdo e direito, simultâneamente, e colocar na base - Foto 1	3	1,8		
	2	Pegar na placa pelo conetor preto grande e colocar na gaveta - Foto 2	3	1,8		
	3	Fechar a gaveta e aguardar pelo término do processo - Foto 3	4	2,4		
	4	Retirar conjunto da gaveta e colocar no blister	5	3,0		
		Total	15	9		

	Realizado por:	Verificado por:	Aprovado por:
Data:	26/06/2020		
Função:	IE		
Nome:	Nuno Bastos		







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

Figura 142 - Instrução de Trabalho Press-Fit Placa Power para o Produto "B"

Apêndice XI – A3 Projeto Lean Six Sigma – Redução de Refugo do Press-Fit

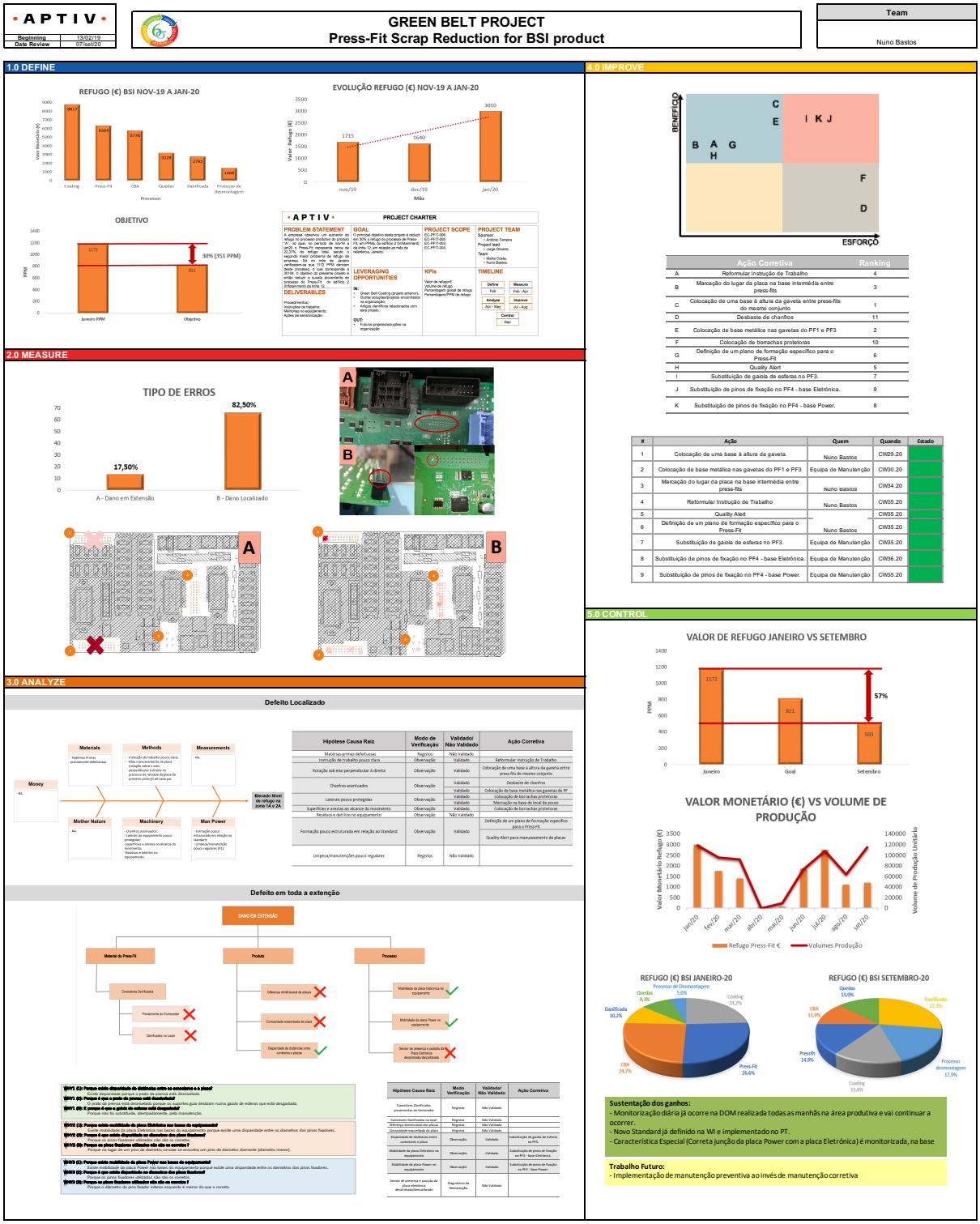


Figura 143 - A3 Projeto LSS - Redução Refugo do Press-Fit.