Melhoria do Fluxo de Produção em Linha de Montagem

Luís Miguel Gomes da Silva

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Eduardo José Rego Gil da Costa

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2018-07-02

Aos meus pais

Resumo

Num ambiente industrial cada vez mais competitivo, é crucial que as empresas concentrem os seus esforços na redução do desperdício. Desta forma, o presente projeto teve como objetivo aplicar técnicas e metodologias *Lean* de forma a padronizar o fluxo de produção, reduzir tempos improdutivos e etapas sem valor acrescentado e obter ganhos de produtividade para preparar uma linha de produção de sistemas de transmissão automática de velocidades para o início da produção em série.

Numa fase inicial foi efetuado o mapeamento do processo e foi analisado o fluxo de materiais desde a entrada dos materiais no armazém até à expedição das peças finais. Analisou-se o *Gemba* e as etapas seguidas de forma a identificar potenciais desperdícios. Após esta identificação, foram implementadas várias ferramentas *Lean*, nomeadamente a Gestão Visual, *Kanban, Poka Yoke,* Trabalho Padronizado, 5W*, Takt Time* e Balanceamento, entre outros.

Após a implementação das ferramentas descritas, verificou-se uma clara melhoria no fluxo dos materiais ao longo da linha de montagem, um aumento significativo na capacidade de produção e uma melhoria na eficiência da linha e no seu desempenho, que foram conseguidos através da redução das paragens ao longo da linha e da eliminação dos tempos e atividades sem valor acrescentado. Apresentam-se ainda algumas propostas de melhoria que, por limitação de tempo, não foi possível implementar. Depois de implementadas estas propostas, é expectável que a linha de montagem consiga atingir o tempo de ciclo exigido, com elevada eficiência e desempenho, sendo possível iniciar a sua produção em série.

Palavras-chave: *Lean*; Trabalho Padronizado; Tempo de Ciclo; *Takt Time*; Produtividade; Produção Lean; Desperdício; Gestão visual; Ergonomia; Eficiência; Desempenho.

Production Flow Improvement in an assembly line

Abstract

In an increasingly competitive industrial environment it is crucial that companies focus their efforts on reducing waste. Therefore, the present project aimed to apply Lean techniques and methodologies in order to standardize production flow, reduce unproductive non-value added time and stages, and obtain productivity gains to prepare the line for the beginning of its serial production.

Initially the process was mapped and the flow of materials was analyzed, namely from the arrival of supplies at the warehouse up to the shipment of the final pieces. The Gemba and the procedures were analyzed to identify potential waste. Afterwards, several Lean tools were implemented, namely Visual Management, Kanban, Poka Yoke, Standardized Work, 5W, Takt Time, Balancing, among others.

After implementing the described tools, there was a clear improvement in the flow of materials along the assembly line, a significant increase in production capacity, an improvement in line efficiency and performance, all of which were achieved by reducing disruption along the line and elimination of all non-value added time and activities. Some improvement proposals that could not be implemented due to time constraints are also suggested. Once these are put into practice it is expected that the assembly line will achieve the required cycle time, with high efficiency and performance, thus making it possible to begin serial production.

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a todos os professores que contribuíram para a minha formação profissional e enquanto pessoa. Ao professor Eduardo Gil Costa, meu orientador na FEUP, o meu agradecimento pelo apoio e sugestões dadas para a melhoria e enriquecimento do projeto.

À empresa Preh Portugal, o meu muito obrigado por me ter acolhido para a realização desta dissertação, em especial ao diretor dos Recursos Humanos, o Sr. Henrique Soares, e ao chefe de Engenharia de Processo e meu orientador na empresa, o Engenheiro José Cavaleiro, por terem tornado possível este projeto.

Ao departamento de Engenharia de Processo e ao departamento de Pré-Séries, agradeço todo o apoio e amizade, facilitando a minha integração na empresa.

Às Engenheiras Cátia Ferreira e Joana Almeida e ao Engenheiro João Sousa, um especial agradecimento por toda a paciência e dedicação nos conhecimentos transmitidos e na prontidão da resposta sempre que alguma dúvida surgia.

Gostaria também de agradecer a todos os envolvidos no projeto realizado, em particular aos operadores, pela disponibilidade, apoio prestado e pela boa disposição.

Para finalizar, gostaria de agradecer aos meus pais e irmão, pela paciência e apoio incondicional ao longo de todo o meu percurso académico.

Índice de Conteúdos

1 Introdução 1

1.1 Enquadramento do Projeto e Motivação ... 1
1.2 O grupo Preh ... 1
1.3 Objetivos do Projeto ... 2
1.4 Método Seguido no Projeto ... 3
1.5 Estrutura da Dissertação ... 3

2 Enquadramento Teórico ... 4

2.1 *Toyota Production System* (TPS) ... 5
2.2 Os Princípios do Pensamento Lean ... 6
2.3 Os Sete Tipos de Desperdício ... 7
2.4 Ferramentas e Metodologias *Lean* ... 8

2.4.1 *Value Stream Mapping* ... 8
2.4.2 Gestão Visual ... 9
2.4.3 5S ... 10
2.4.4 *Standard Work* ... 10
2.4.5 Kanban ... 11
2.4.6 Balanceamento ... 13
2.4.7 Poka Yoke ... 14
2.4.8 PDCA ... 14

3 Caraterização do Estado Inicial ... 16

3.1 Apresentação do Produto ... 16
3.2 Análise do Processo Produtivo ... 17

3.2.1 Mapeamento da Cadeia de Valor e *Layouts* Atuais ... 17
3.2.2 *Takt Time* Necessário ... 19
3.2.3 Tempo de Ciclo Real ... 20
3.2.4 Desempenho Inicial ... 20
3.2.5 Eficiência Inicial ... 23
3.2.6 Layout Inicial da Linha de Montagem ... 23
3.2.7 Postos de Trabalho e Bordos de Linha ... 25
3.2.8 Rejeição de Peças ... 26
3.2.9 Retrabalhos ... 28

4 Apresentação do Trabalho Desenvolvido ... 30

4.1 Análise dos Postos de Trabalho Críticos ... 30

4.1.1 Estação OP270 ... 30
4.1.2 Estação OP265 ... 32
4.1.3 Estação OP290 ... 32
4.1.4 Estação OP280 ... 33
4.1.5 Estação OP40/50 ... 33
4.1.6 Estação OP60 ... 35
4.1.7 Estação OP110 ... 36
4.1.8 Estação OP101 ... 37

4.2 Estações de aparafusamento ... 37
4.3 Trabalho Padronizado ... 38
4.4 Gestão Visual ... 38
4.5 Bordos de Linha ... 40
4.6 Organização do Layout dos Retrabalhos ... 40
4.7 Sistema *Kanban* ... 41
4.8 Análise das Ações Desenvolvidas ... 41

4.8.1 Tempos de Ciclo ... 41
4.8.2 Desempenho Final ... 42

4.8.3 Eficiência Final 43
4.8.4 Índice de Rejeição e Retrabalhos 43
4.9 Propostas de Ações de Melhoria 44
4.9.1 Inserção de Barreiras de Proteção 44
4.9.2 Estação OP101 44
4.9.3 Estação OP80 45
4.9.4 Estação OP290 45
4.9.5 Estação OP265 45
4.9.6 Mudança de *Layout* da Linha de Montagem 46
4.9.7 Retrabalhos 46
5 Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro 47
Referências 48
ANEXO A: Estação OP270 –Tempos das Operações e Análise Modos de Falha 50
ANEXO B: Exemplo de Lista de Confirmação Implementada 51
ANEXO C: Controlador Usado para Comandar a Aparafusadora 52
ANEXO D: Exemplo de IT Criada na Linha de Montagem 53
ANEXO E: Quadros Informativos Implementados nos Retrabalhos e na Linha 54
ANEXO F: Exemplo de Alerta Visual Criado 55
ANEXO G: Alteração de Layout na Zona dos Retrabalhos 56
ANEXO H: Representação do Movimento Atual e Proposta de Inserção de Barreiras 57
ANEXO I: Estação OP101 – Estado atual e Proposta de Melhoria 58
ANEXO J: Estação OP80 – Estado atual e Proposta de Melhoria 59
ANEXO K: Estação OP290 – Montagem atual do cabo e montagem proposta 60
ANEXO L: Tempos de Ciclo Após Implementação das Propostas de Melhoria 61
ANEXO M: Proposta de Mudança de Layout 62
ANEXO N: Desempenho Futuro Após Implementação das Propostas de Melhoria 63
ANEXO O: Proposta de Mudança de Layout na Zona dos Retrabalhos 64

Índice de Figuras

Figura 1 - Grupo Preh no mundo. 1
Figura 2- Instalações e logótipo da empresa. 2
Figura 3 - Edifício TPS *in https://www.bpmhandbook.com/volume-1/table-of-content/phase-2-process-concept-evolution/figure-3/ , consultado em 2018-03-26, 14:00.* 6
Figura 4 - Os cinco princípios *Lean in https://www.Lean.org/WhatsLean/Principles.cfm, consultado em 2018-03-24, 15:14.* 7
Figura 5 - Os sete tipos de desperdícios *in http://Leanguru.pro/graphic-7-types-of-waste-in-manufacturing/, consultado em 2018-06-13, 11:21.* 7
Figura 6 - Exemplo do mapeamento de uma situação atual in Coimbra, 2013. 8
Figura 7 - Exemplo de sistema de gestão visual i*n http://www.cmc-consultants.com/blog/Lean-visual-management-boards-in-factories-keep-it-simple, consultado em 2018-06-13, 10:59.* ... 9
Figura 8 - Aplicação dos 5S a um posto de trabalho in Coimbra, 2013. 10
Figura 9 - Exemplo de um cartão *kanban* in Coimbra, 2013. 11
Figura 10 - Tipos de *Kanban*, adaptado de Coimbra, 2013. 12
Figura 11 – Gráfico *Yamazumi in http://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.com/2015/04/calculo-do-takt-time-e-avaliacoes.html, consultado em 2018-06-12, 15:45.* 13
Figura 12 - Exemplos de mecanismos *poka yoke* in Coimbra, 2013. 14
Figura 13 - Ciclo PDCA *in https://conceptdraw.com/a1739c4/preview, consultado em 2018-03-22, 09:50.* 15
Figura 14 - Protótipo da versão passiva esquerda. 16
Figura 15 - Layout da PP. 17
Figura 16 - VSM inicial do projeto XBN. 18
Figura 17 - Estado inicial da zona Z e dos retrabalhos, respetivamente. 18
Figura 18 -Tempos de ciclo na situação inicial. 20
Figura 19 - Desempenho inicial da taxa de produção da linha de montagem. 22
Figura 20 - Desempenho inicial do tempo de processamento da linha de montagem. 22
Figura 21 - Estado inicial da linha de montagem. 23
Figura 22 - Diagrama de precedências da linha de montagem. 23
Figura 23 - Subgrupo BM. 24
Figura 24 - Subgrupo GJX. 24
Figura 25 - Subgrupo CNOV 24
Figura 26 - Bordos de Linha na situação inicial. 25
Figura 27 - Diagrama de Spaghetti dos movimentos dos operadores na linha de montagem. . 26
Figura 28 - Diagrama de Pareto das causas de rejeição de peças na situação inicial. 27
Figura 29 - Suporte criado para a montagem dos cabos. 31
Figura 30 - Comprimento do cabo na situação inicial e final, respetivamente. 31

Figura 31 - Aparafusadora com o *bit* e com a adaptação da ponteira, respetivamente. 32
Figura 32 - Inspeção do cabo no estado inicial e no estado atual, respetivamente. 33
Figura 33 - Implementação do scanner para evitar propagação de erros na OP280. 33
Figura 34 - Implementação dos Sensores de proximidade. 34
Figura 35 - Alteração dos calcadores na OP40/50. 34
Figura 36 - Comparação de comprimentos entre a OP40/50 e OP100, respetivamente. 35
Figura 37 - Mecanismo *poka yoke* criado no condutor de luz da OP60. 35
Figura 38 - Instalação do sensor de visão. 36
Figura 39 - Inserção da estação exterior na OP110. 36
Figura 40 - Colocação manual e automática das esferas de silicone, respetivamente. 37
Figura 41 - Código de cores implementado. 39
Figura 42 - Etiquetas e Bordo de Linha com o código de cores implementado. 39
Figura 43 - Gestão visual implementada na área dos retrabalhos. 39
Figura 44 - Implementação de caixas avançadas nos postos de trabalho. 40
Figura 45 - Tempos de ciclo na situação final. 42
Figura 46 – Desempenho final da taxa de produção e do tempo de processamento na linha de montagem. 43

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Dados de planeamento.....19
Tabela 2 - Tipos de retrabalhos e quantidades associadas.....28
Tabela 3 - Causas de rejeição e retrabalhos associados.....29
Tabela 4 - Modos de falha da aparafusadora da OP270. 30
Tabela 5 - Modos de falha da aparafusadora da OP265. 32
Tabela 6 - Tipos de retrabalhos e quantidades associadas no final do projeto. 44

1 Introdução

A presente tese foi realizada no âmbito da dissertação em ambiente industrial do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica – ramo Gestão da Produção. Neste capítulo é feita uma apresentação da empresa onde decorreu o projeto, os seus principais objetivos, o método seguido bem como a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento do Projeto e Motivação

Esta dissertação tem como tema principal a aplicação de metodologias e ferramentas *Lean* na melhoria de fluxos de produção. O projeto foi desenvolvido na Preh Portugal, no departamento de Engenharia de Processo, mais concretamente numa linha de montagem. Esta linha dará origem à produção em série de um novo produto, sendo essencial melhorar os fluxos de produção e assegurar a produção requerida pelo cliente, para que seja possível dar início à sua produção em série.

1.2 O grupo Preh

O grupo Preh foi criado em 1919, em Bad Neustadt, Alemanha, por Jakob Preh, que desenvolveu o "Preh-Funk", um dos primeiros recetores de rádio em todo o mundo.

Atualmente, a principal área de negócios da empresa é a indústria automóvel, onde incorpora sistemas de controlo para o interior de veículos, tais como sistemas eletromecânicos e eletrónicos.

Com mais de nove décadas de experiência no desenvolvimento e produção de soluções para produtos feitos à medida, o grupo Preh emprega cerca de 7020 pessoas repartidas por países como Alemanha, Portugal, Roménia, México, China, USA e mais recentemente a Suécia, ilustrados na Figura 1.

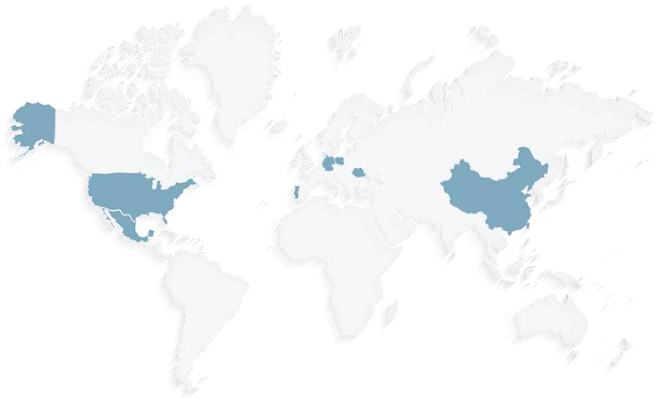


Figura 1 - Grupo Preh no mundo.

A Preh Portugal

A Preh Portugal (PP), cujas instalações e logótipo se encontram representados na Figura 2, foi fundada na Trofa em 1969, sendo a primeira fábrica de eletromecânica criada fora da Alemanha, iniciando a sua produção para a Grundig, sediada em Braga. Desde 1992 que produz componentes eletrónicos para a indústria automóvel, exportando, aproximadamente, 100% da produção.

A União Europeia é o principal mercado da Preh Portugal, onde a Alemanha se destaca como principal cliente, seguindo-se a Espanha, a República Checa e a Polónia. A partir de 2010, o mercado extracomunitário começou a ganhar relevância com cerda de 8% das exportações totais. A PP ocupa o primeiro lugar em termos de competitividade, produção e atividade dentro do grupo Preh.

Os maiores fabricantes mundiais de automóveis são os grandes clientes da PP. O mais significativo é a BMW, com cerca de um quarto do total das vendas, seguindo-se o grupo VW/Audi/Seat/Skoda, a GM/Opel/Vauxhall, a Daimler e o grupo Sony/Ford.

A PP atualmente tem cerca de 662 colaboradores, distribuídos por nove departamentos, onde são produzidos painéis de comando de climatização, painéis de sinalização para sistemas automáticos de transmissão, sensores potenciométricos, sistemas de apoio à condução e sistemas de comando.

O departamento de Engenharia de Processo, secção onde decorreu o presente projeto, é responsável por construir uma nova linha de montagem para produzir um novo produto, sendo necessário reduzir desperdícios e tempos improdutivos de forma a normalizar o trabalho dos operadores, permitir a melhoria do fluxo de produção e, consequentemente, assegurar a produção exigida pelo cliente.



Figura 2- Instalações e logótipo da empresa.

1.3 Objetivos do Projeto

O presente projeto tem como principais objetivos analisar, identificar e eliminar os desperdícios presentes numa linha de montagem, recorrendo a ferramentas e metodologias inerentes à filosofia *Lean Manufacturing*. Concretamente, os principais objetivos deste trabalho são:

- ✓ Identificação e redução de desperdícios;
- ✓ Redução dos movimentos que não acrescentam valor;
- ✓ Melhoria do fluxo dos materiais e do fluxo de produção;
- ✓ Redução do tempo de ciclo;
- ✓ Redefinição do Layout da linha de montagem;
- ✓ Obtenção de ganhos de produtividade.

1.4 Método Seguido no Projeto

Este projeto iniciou-se com o estudo do fluxo de materiais ao longo da cadeia de valor e análise dos tempos e métodos nos diferentes postos de trabalho, com o objetivo de identificar potenciais desperdícios.

De seguida, foram planeadas as ferramentas associadas à filosofia *Lean Manufacturing* que melhor se aplicavam ao projeto, de forma a reduzir os desperdícios encontrados;

Posteriormente foram implementadas as ferramentas planeadas;

Finalmente, avaliaram-se os resultados conseguidos através da implementação das ferramentas planeadas e foi elaborada a documentação de processo, procedendo-se à formação das operadoras nos diferentes postos de trabalho.

1.5 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é constituída por cinco capítulos, tendo sido este primeiro capítulo dedicado à apresentação da empresa, à introdução e enquadramento do projeto e dos seus objetivos e à descrição do método seguido no projeto.

No segundo capítulo é feito o enquadramento teórico sobre a filosofia *Lean Manufacturing* onde são apresentadas as ferramentas e metodologias usadas para atingir os objetivos do projeto.

No terceiro capítulo é descrita a situação inicial do fluxo dos materiais e da linha de montagem associada.

O quarto capítulo engloba o trabalho realizado e as propostas de melhoria com o objetivo de minimizar os problemas identificados, melhorar o desempenho e aumentar a produtividade da linha de montagem.

No quinto capítulo são apresentadas conclusões sobre a realização do projeto na PP.

2 Enquadramento Teórico

A indústria automóvel teve início em 1880, com uma produção muito artesanal, permitindo produzir o que os clientes realmente pretendiam. No entanto, o tempo de espera e os custos envolvidos eram extremamente elevados, constituindo um problema difícil de ultrapassar.

Em 1913 surgiu a técnica de produção em massa, implementada por *Henry Ford*, considerada um *standard* para o fluxo de produção e trabalho na linha de montagem. Recorrendo a esta técnica, *Ford* reduziu drasticamente os custos e, consequentemente, o preço dos automóveis. Porém, o cliente estava limitado nas suas opções de escolha.

No final da segunda Guerra Mundial o Japão enfrentava uma conjuntura difícil e desfavorável e, para ultrapassar estas adversidades, a Toyota revolucionou a forma de produzir, criando o *Toyota Production System* (TPS). O objetivo do TPS era combinar as vantagens da produção artesanal, i.e., produzir exatamente o que o cliente necessitava, com a produção em massa, i.e., produzir em grandes quantidades. O TPS constituiu um dos exemplos da inovação nos processos: o seu principal objetivo foi aumentar a produtividade e reduzir os custos através da eliminação dos desperdícios. O TPS foi elaborado e baseado em ferramentas e soluções que levaram à melhoria continua de processos e pessoas.

O sistema de produção descrito constituiu a base do *Lean Manufacturing* ou *Lean Production*, designações que emergiram em 1990 com a publicação de estudos de referência por Womack e Jones, e geralmente conhecidas como a filosofia do *Lean Thinking* (Rosa, Silva, e Pinto Ferreira 2017).

O Pensamento Lean

Atualmente, as empresas no setor automóvel necessitam de um constante desenvolvimento e capacidade para se adaptarem à procura do mercado. O elevado nível de competitividade no setor tem gerado a necessidade de aumentar a produtividade, a eficiência e a qualidade para que seja possível dar resposta aos pedidos dos clientes. Para isso é necessário inovar no processo de produção para que seja possível obter sistemas de produção mais flexíveis e produtivos (Rosa, Silva, e Pinto Ferreira 2017).

A filosofia *Lean* constitui uma ferramenta essencial para a evolução contínua dos processos de produção. A maioria das empresas estão focadas numa estratégia de redução de custos através da eliminação do desperdício para que possam ser sustentáveis num mundo cada vez mais competitivo.

O *Lean Manufacturing* (LM), conceito evoluído do pensamento *Lean*, tem como objetivos reduzir o esforço humano, o inventário, o tempo a desenvolver produtos e o espaço para que seja possível uma resposta mais rápida à procura do cliente e ao mesmo tempo produzir produtos com qualidade da forma mais eficiente e económica. O LM tornou-se uma necessidade em todas as áreas de produção para a sobrevivência das empresas face à elevada competitividade do mercado (Chauhan e Singh 2012).

A filosofia *Lean* defende também o controlo dos recursos de acordo com as necessidades dos clientes e a redução do desperdício, incluindo os tempos improdutivos. É genericamente entendida como uma abordagem sistemática para identificar e eliminar os elementos que não acrescentam valor ao processo (Roy, Henrik, e Håkan 2006).

2.1 *Toyota Production System* (TPS)

A criação do TPS iniciou-se no momento em que Kiichiro Toyoda, o seu primo Eiji Toyoda e o engenheiro Taiichi Ohno visitaram empresas americanas para perceberem como se construíam os automóveis. No decurso dessa visita identificaram várias ineficiências no sistema e reconheceram que as restrições do mercado japonês – baixos volumes e diversidade relativamente alta, poderiam inviabilizar a implementação da produção em massa na Toyota, ficando clara a necessidade de criar um novo tipo de sistema de produção que permitisse criar um fluxo contínuo de produtos e que fosse capaz de se adaptar às variações da procura. Além disso, queriam uma forma diferente de tratar os trabalhadores, potenciando as suas capacidades e promovendo o respeito pelas pessoas (Alves, Dinis-Carvalho, e Sousa 2012).

Mais tarde, Sakichi Toyoda inventou o tear automático, permitindo não só automatizar o trabalho até então realizado manualmente, mas também desenvolver a capacidade de decidir na própria máquina, i.e., criou um dispositivo de paragem automática do tear caso um fio se partisse, permitindo melhorar substancialmente a qualidade. Ao eliminar quer os produtos defeituosos, quer as práticas de desperdício associadas, Sakichi conseguiu melhorar a produtividade e a eficiência do trabalho. Esta automatização das máquinas, *Jidoka* em japonês, constitui o primeiro grande pilar do TPS.

Kiichiro Toyoda, que herdou essa filosofia, percebeu que "as condições ideais para criar coisas são quando as máquinas, instalações e pessoas trabalham juntas para agregar valor sem gerar nenhum desperdício". Concebeu metodologias e técnicas para eliminar o desperdício entre operações, linhas e processos, criando um sistema com fluxo constante (*takt*) para satisfazer a procura do cliente. O resultado foi o método *Just-In-Time* (JIT), segundo grande pilar do TPS.

A combinação dos dois pilares tem como objetivo a resolução rápida dos problemas de forma a estabilizar e restabelecer a produção.

Este sistema, representado na Figura 3, é mantido e melhorado através da interligação entre trabalho padronizado, *Kaizen* (ou melhoria contínua) e *Heijunka* (ou nivelamento da produção), constituindo uma das bases para o sistema (Dombrowski, Hennersdorf, e Schmidt 2006). No entanto, para que o sistema funcione é necessária a existência da estabilidade básica – a primeira base do TPS, que consiste no desenvolvimento da estabilidade dos Quatro M:

- ✓ **Mão-de-obra:** é necessária a existência de bons hábitos de trabalho, competência, pontualidade e baixo absentismo;
- ✓ **Máquinas:** devem existir poucas avarias, defeitos ou paragens não planeadas;
- ✓ **Materiais:** não devem existir ruturas e deve haver maior acessibilidade no local de uso;
- ✓ **Métodos:** os processos devem ser normalizados e deve existir manutenção e gestão (Coimbra 2013).

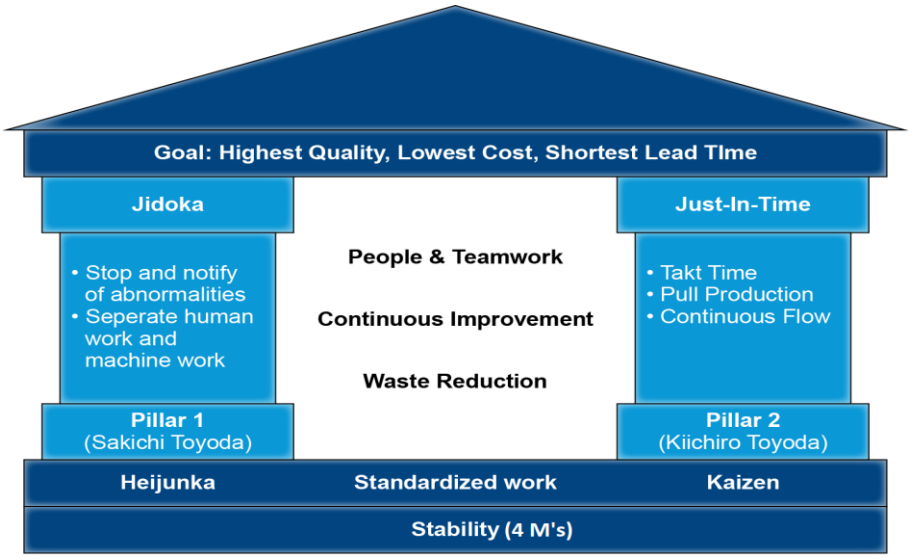


Figura 3 - Edifício TPS *in* https://www.bpmhandbook.com/volume-1/table-of-content/phase-2-process-concept-evolution/figure-3/ *, consultado em 2018-03-26, 14:00.*

Ao praticar as filosofias de melhoria contínua e "bons pensamentos, bons produtos", o TPS evoluiu para um sistema de produção de renome mundial. O "espírito Toyota de fazer coisas" é referido como "*Toyota Way*" e é adotado por empresas de todo o mundo e continua a evoluir globalmente (Dombrowski, Hennersdorf, e Schmidt 2006).

O TPS constitui assim a base do pensamento *Lean*, atribuindo grande ênfase à eliminação dos vários tipos de desperdício existentes ao longo da cadeia de valor, motivação e envolvimento dos trabalhadores, otimização dos equipamentos e redução de custos, garantindo a qualidade e foco na satisfação do cliente (Rosa, Silva, e Pinto Ferreira 2017).

2.2 Os Princípios do Pensamento Lean

Os princípios *Lean* são fundamentalmente orientados para o cliente, o que torna a filosofia extremamente adequada à indústria automóvel. Geralmente são reconhecidos os seguintes cinco princípios básicos ao LM, também apresentados na Figura 4:

(1) Perceção do valor para o cliente: apenas os interesses do cliente são importantes;

(2) Análise da cadeia de valor: compreender o valor para o cliente e analisar todo o processo de forma a identificar quais as etapas com valor. Se uma ação não adicionar valor, deve ser modificada ou eliminada do processo;

(3) Fluxo contínuo: foco na organização de um fluxo contínuo através da produção ou da cadeia de abastecimento em vez de mover os produtos em grandes lotes;

(4) *Pull*: os pedidos do cliente "puxam" os produtos acabados ao longo do processo. Nenhum trabalho é realizado a menos que tenha sido pedido pelo cliente, i.e., apenas se produz o estritamente necessário, eliminando os stocks intermédios;

(5) Perfeição: a eliminação de elementos que não adicionem valor ao produto constitui um processo de melhoria contínua. Não existe fim na redução de tempo, de erros, de espaço ou de esforços para eliminar por completo o desperdício (Roy, Henrik, e Håkan 2006).



Figura 4 - Os cinco princípios *Lean in* https://www.Lean.org/WhatsLean/Principles.cfm, *consultado em 2018-03-24, 15:14.*

2.3 Os Sete Tipos de Desperdício

Diminuir os custos de produção através da eliminação do desperdício torna-se essencial para a sobrevivência de qualquer empresa. O desperdício representa qualquer atividade que consuma recursos, mas que não acrescente valor ao produto. Esta ideia deriva do TPS e o seu objetivo é incrementar o trabalho de valor acrescentado através da eliminação dos seguintes sete tipos de desperdício, também representados na Figura 5:

1. **Excesso de produção**. Sucede quando a produção é superior à procura, originando um aumento de stock;
2. **Movimento, tanto do operador como do material ou da máquina.** Corresponde a deslocações desnecessárias de operadores e equipamentos, resultado de *layouts* inapropriados e do aumento dos tempos de produção sem adição de valor;
3. **Tempo de espera do operador, material ou máquina.** Corresponde a períodos de inatividade, fazendo baixar a eficiência do processo;
4. **Transporte.** Movimento de materiais sem acrescentar valor ao produto, sendo uma consequência de um *layout* desajustado;
5. **Processamento.** Excesso de operações extra que não acrescentam valor ao produto;
6. **Inventário**. Excesso de produto, sendo desnecessário para satisfazer as necessidades do cliente;
7. **Retrabalho e material rejeitado.** Corresponde ao produto não conforme de acordo com as especificações do cliente, aumentando os prazos de entrega e os custos de produção (Chauhan e Singh 2012).



Figura 5 - Os sete tipos de desperdícios *in* http://Leanguru.pro/graphic-7-types-of-waste-in-manufacturing/, *consultado em 2018-06-13, 11:21.*

Em toda a literatura *Lean* e *Kaizen*, as formas de desperdício apresentadas são parte de um conceito mais amplo, os Três M, em que:

- ✓ ***Muda*** significa desperdício. O desperdício representa qualquer atividade que consuma recursos, mas não acrescente valor ao produto;
- ✓ ***Mura*** significa variabilidade, i.e., falta de estabilidade e fiabilidade. Demasiado *mura* representa um excesso de variações inesperadas;
- ✓ ***Muri*** significa "demasiado difícil", associado à perda de tempo e energia. Uma estação de trabalho com uma má posição ergonómica que obrigue o operador a baixar-se é considerado um desperdício de tempo, de energia e um risco de ferimento (Coimbra 2013).

2.4 Ferramentas e Metodologias *Lean*

A filosofia *Lean* é suportada por várias ferramentas e metodologias que permitem às organizações reduzir o desperdício, melhorar o fluxo dos materiais e aumentar a produtividade. Algumas dessas ferramentas e metodologias são apresentadas de seguida.

2.4.1 *Value Stream Mapping*

Uma cadeia de valor representa o conjunto de todas as ações necessárias para a transformação e transporte de um produto, desde o seu estado de matéria-prima até ao estado de produto acabado, no consumidor final.

O *Value Stream Mapping* (VSM) constitui um método desenvolvido por Rother e Shook que permite uma visão geral do fluxo de materiais desde a aquisição da matéria-prima até à expedição do produto final. Através da representação visual de todo o fluxo do processo relativamente aos materiais e informação, torna-se mais fácil identificar o desperdício e elaborar a cadeia de valor desde o fornecedor até ao cliente, como pode ser observado na Figura 6. É também uma forma eficaz de registar *lead times*, tempos de *setup* e outros indicadores, de modo que seja possível visualizar claramente o desempenho do sistema. Isto permite abordar a melhoria do processo de uma forma sistemática com o objetivo de detetar e eliminar os diferentes tipos de desperdício, estando por isso ao serviço da implementação da filosofia *Lean*. Além disso, oferece uma linguagem simples e de fácil compreensão e permite que seja aplicado em diferentes áreas, devido à sua aplicabilidade e flexibilidade (Rosa, Silva, e Pinto Ferreira 2017).

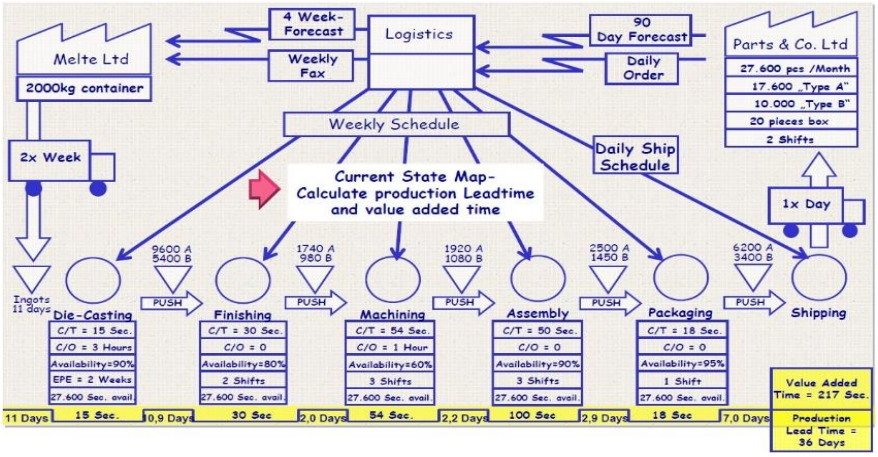


Figura 6 - Exemplo do mapeamento de uma situação atual in Coimbra, 2013.

A aplicação do VSM é feita em quatro etapas:

1. **Selecionar uma família de produtos.** Tentar mapear todos os produtos de uma empresa pode tornar-se excessivamente complexo, sendo recomendável selecionar apenas uma família de produtos;
2. **Desenhar o mapa atual.** A primeira consideração a ter nesta etapa deve ser a identificação dos processos que realmente acrescentam valor ao produto na ótica do cliente. Com base nessa informação, constrói-se o mapa atual com a representação dos processos e das suas ligações. De seguida, este mapa deve ser completado com dados numéricos que caraterizam as várias etapas, permitindo reconhecer as várias fontes de desperdício;
3. **Desenhar o mapa futuro.** Durante esta etapa desenha-se um novo mapa, removendo as fontes de desperdício. A cadeia de valor deve ser contruída ligando as várias etapas entre si através do sistema *pull* ou em fluxo contínuo;
4. **Definir um plano de ações e implementação:** O planeamento da implementação do mapa futuro deve ser feito por etapas e com avaliações dos objetivos. É recomendável a monitorização de cada uma das etapas de implementação (Seth, Seth, e Dhariwal 2017).

2.4.2 Gestão Visual

A Gestão Visual consiste num conjunto de ferramentas que permite a transmissão de informação de forma eficiente, rápida, clara e organizada às pessoas que dela necessitam. Dado que se trata de uma ferramenta visual, torna-se mais fácil entender e interiorizar a informação quando comparada com a transmissão verbal. A Gestão Visual utiliza meios de comunicação rápidos e intuitivos, sendo normalmente definido como uma comunicação sem recorrer a palavras ou voz.

Existem vários sistemas de gestão visual tais como quadros informativos, apresentado na Figura 7, delimitações de espaço, *andons*, instruções de trabalho e avisos luminosos. O objetivo é capacitar os trabalhadores a gerirem o seu próprio ambiente de trabalho, reduzindo erros e outras formas de desperdício. Constitui a base de outras ferramentas *Lean*, como o 5S e o trabalho padronizado (Torghabehi et al. 2016).

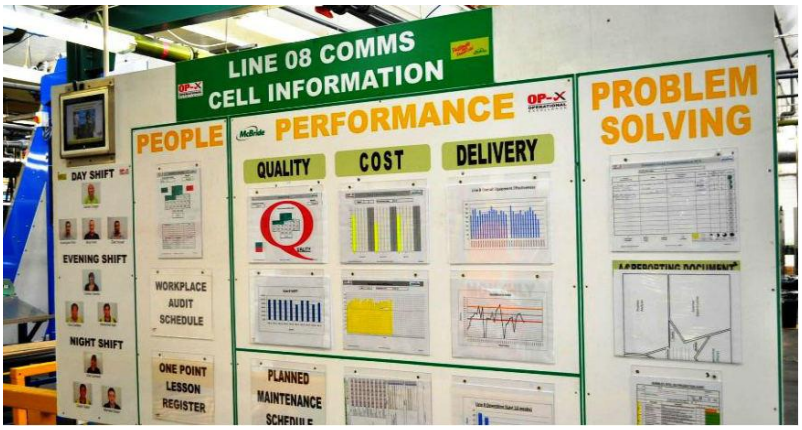


Figura 7 - Exemplo de sistema de gestão visual in *http://www.cmc-consultants.com/blog/Lean-visual-management-boards-in-factories-keep-it-simple, consultado em 2018-06-13, 10:59.*

2.4.3 5S

A ferramenta 5S foi desenvolvida no Japão por Kakichi Toyoda, Kishiro Toyoda e Taiichi Ohno em 1960. Esta ferramenta tem como principal objetivo ter um local de trabalho limpo e organizado de forma a manter um excelente ambiente organizacional. O método consiste numa sequência de cinco passos:

(1) ***Seiri*** (Organização) – Integra a remoção de tudo o que é considerado desnecessário. O local de trabalho não deve ter mais do que o necessário para realizar as atividades;

(2) ***Seiton*** (Arrumação) – Deve haver um lugar para tudo e tudo deve estar no seu lugar. Uma rápida e visual identificação das ferramentas e áreas economizam tempo e facilitam os processos;

(3) ***Seiso*** (Limpeza) – A limpeza do local de trabalho é essencial, permitindo reduzir o risco de acidentes e auxiliar a inspeção dos produtos;

(4) ***Seiketsu*** (Padronização) – De forma a otimizar os três S anteriores, devem ser criados e seguidos standards;

(5) ***Shitsuke*** (autodisciplina) – O último passo consiste no desenvolvimento de um método para garantir que a técnica dos 5S é seguida, sendo necessário disciplina e foco. Normalmente são realizadas auditorias para garantir a sustentabilidade da metodologia. Os seus resultados devem ser divulgados e afixados para a consulta de todos os trabalhadores.

Com a aplicação dos 5S, verifica-se uma redução no esforço dos trabalhadores e estes tornam-se mais eficazes e motivados, havendo menos desperdício e mais espaço. A área abrangida torna-se apta para serem implementadas outras ferramentas *Lean*. A Figura 8 esquematiza as diferenças num posto de trabalho antes e depois da aplicação da metodologia 5S.

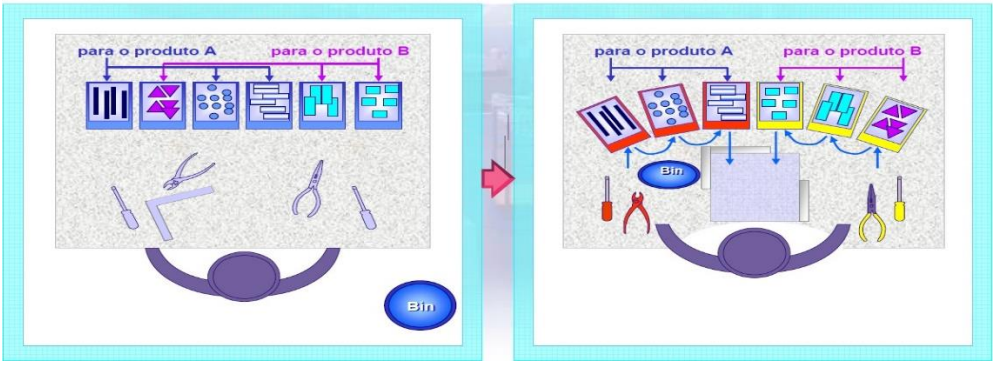


Figura 8 - Aplicação dos 5S a um posto de trabalho in Coimbra, 2013.

2.4.4 *Standard Work*

Standard Work é uma ferramenta desenvolvida por Ohno na década de 50, sendo considerada uma das mais importantes do pensamento *Lean*. Esta ferramenta é definida como um conjunto de regras e procedimentos operacionais que são formalizados e executados e pretende eliminar a variação e inconsistência dos resultados instruindo os trabalhadores a realizarem as atividades de acordo com os procedimentos claramente definidos (Antoniolli et al. 2017). Este objetivo pode ser atingido através da definição de um procedimento ótimo e da garantia do seu desempenho, não havendo lugar para improvisos.

A correta utilização desta ferramenta torna o esforço de trabalho estável e mensurável, permitindo reduzir a variabilidade dos processos. Através da redução do desperdício, derivado da ineficiência dos procedimentos de trabalho, o sistema torna-se mais económico. Esta uniformização dever passar pela documentação de todos os passos necessários à execução de uma determinada tarefa de forma a garantir que qualquer pessoa que a execute utilize, do mesmo modo, as ferramentas necessárias e siga a mesma sequência. Através da documentação dos melhores procedimentos correntes, o trabalho padronizado constitui a linha de base para a melhoria contínua. À medida que o *standard* é aprimorado, o novo padrão torna-se a nova linha de base para posteriores melhorias, e assim sucessivamente (Angelis e Fernandes 2012).

O trabalho padronizado consiste em três elementos principais:

- ✓ *Takt Time*, que representa a taxa a que os produtos devem ser produzidos para conseguir assegurar a procura do cliente;
- ✓ Sequência de Trabalho necessária na qual um operador executa as tarefas dentro do *takt time*;
- ✓ Inventário em curso de fabrico (WIP), incluindo unidades em processamento nas máquinas, necessário para manter um fluxo contante, quando o processo está em normal funcionamento.

O trabalho padronizado garante a eliminação das etapas sem valor acrescentado e um nível de stock bem definido, podendo ainda contribuir para a redução de peças defeituosas, uma vez que o procedimento correto é seguido, sendo possível eliminar os defeitos. Constitui também uma apresentação visual das oportunidades de melhoria. Além disso, se a empresa seguir um *standard* de trabalho, os movimentos e etapas desnecessários serão evidentes.

Padronizar o trabalho acrescenta disciplina, elemento que é frequentemente negligenciado, mas essencial para que o *Lean* seja implementado. O trabalho padronizado também é uma ferramenta de aprendizagem que suporta auditorias, promove a solução de problemas e envolve as equipas no desenvolvimento de mecanismo *poka yoke* (Elrhanimi, El Abbadi, e Bouabdellah 2016).

2.4.5 Kanban

Kanban foi desenvolvido por Ohno nas linhas de produção da Toyota, emergindo como uma solução para as empresas que produziam em excesso. Ohno pensou no *kanban* como uma forma de reduzir o desperdício, produzindo apenas o necessário, quando necessário. *Kanban* pode ser traduzido como um cartão ou um sinal, exemplificado na Figura 9 e tornou-se numa abordagem *Lean*, desenvolvida na indústria automóvel, para "puxar" os materiais ao longo de uma linha de produção, numa mentalidade *Just in Time*.

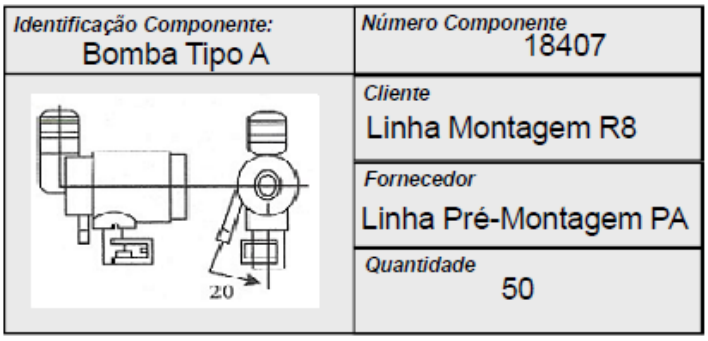


Figura 9 - Exemplo de um cartão *kanban* in Coimbra, 2013.

O conceito desta ferramenta consiste em promover a reposição dos materiais apenas quando necessário, através do envio e receção de sinais, usualmente na forma de cartões, que contêm a identificação e o código do material, do cliente, do fornecedor e a quantidade a ser reabastecida.

O sistema *kanban* está sempre associado a um supermercado. O conceito supermercado é utilizado para definir pontos de inventário com quantidades controladas, onde existem quantidades de material máximas e mínimas que são repostas consoante os consumos do cliente. Desta forma, é possível saber as quantidades existentes e possibilita a diminuição do nível de *stock* de segurança. Este sistema permite dar resposta às flutuações do mercado e aos problemas que possam surgir, de forma a não lesar a cadeia de valor.

Neste sistema existem dois grupos de *kanban*: de transporte e de produção. O primeiro grupo destina-se a deslocar artigos de um local de armazenamento para outro, definindo a quantidade a transportar entre os locais. Relativamente ao segundo grupo, as estações de trabalho apenas podem produzir quando tiverem um *kanban* de produção, onde é indicada a quantidade de peças a produzir de modo a repor a que foi retirada do supermercado correspondente. Cada grupo pode ainda ser divido em três tipos de *kanban*, apresentados na Figura 10.

Os três tipos de *kanban* de transporte são:

- ✓ *Kanban* de encomenda externa, recebido de um cliente e entregue a partir do supermercado de produto acabado;
- ✓ *Kanban* de entrega externa, enviado ao fornecedor e recebido no supermercado de entrada;
- ✓ *Kanban* de entrega interna, associado a consumos/reposições internas, feitos pelo operador logístico.

Os três tipos de *kanban* de produção são:

- ✓ *Kanban* de fluxo de produção, associado a máquinas com tempo de *setup* nulo;
- ✓ *Kanban* de sinal de produção, associado a máquinas com tempo de *setup* superior a zero e que não usam cartões *kanban* associados a contentores;
- ✓ *Kanban* de lote de produção, associado a máquinas com tempo de *setup* superior a zero e que usam cartões associados a contentores (Coimbra 2013).

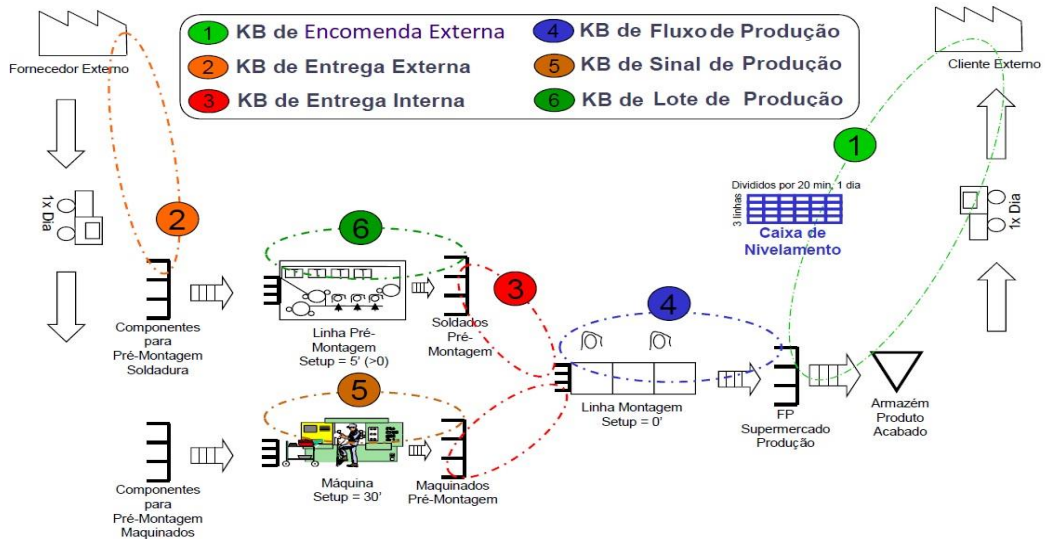


Figura 10 - Tipos de *Kanban*, adaptado de Coimbra, 2013.

2.4.6 Balanceamento

O balanceamento é um procedimento de alocação de tarefas às estações de trabalho de uma linha de produção, otimizando parâmetros de desempenho e satisfazendo algumas restrições. Os parâmetros de desempenho geralmente estão associados à minimização do número de estações de trabalho utilizadas na linha de montagem com o pressuposto de que um operador deve trabalhar em cada estação. Já as restrições associadas ao balanceamento podem ser agrupadas em:

- ✓ Restrições de atribuição, em que cada tarefa deve ser aplica a pelo menos uma estação de trabalho;
- ✓ Restrições de relações de precedência, em que todas as relações de precedências não devem ser violadas;
- ✓ Restrições de tempo de ciclo, em que a carga de trabalho não deve exceder o tempo de ciclo pré-determinado. A carga de trabalho é igual à soma dos tempos de processamento das tarefas que foram desenhadas para a estação de trabalho (Kara e Atasagun 2013).

O Tempo de Ciclo (TC) constitui um dos principais parâmetros no balanceamento de linhas, sendo necessário diferenciá-lo do conceito *Takt Time* (TT). TT está relacionado com a procura e representa a frequência com que é necessário produzir uma peça, sendo calculado através da Equação 2.1.

$$TT = \frac{TDP}{PC} \tag{2.1}$$

Onde:

TT, é o *Takt Time*
TDP, é o Tempo Disponível para Produção, e
PC, é a Procura do Cliente.

O TC representa o tempo necessário para completar um ciclo numa estação de trabalho. Como normalmente cada estação de trabalho tem um TC diferente, a frequência de saída da linha de produção corresponderá ao da estação de trabalho com o TC mais elevado, designado por *bottleneck*. Para balancear corretamente a linha, o esforço de trabalho deve ser distribuído de forma a que o TC seja inferior ao TT. Para que tal seja possível, deve ser construído o gráfico de balanceamento por operador ou *Yamazumi*, exemplificado na Figura 11. A eficiência será tanto mais elevada quanto mais próximos forem os tempos entre as estações de trabalho (Oliveira, Sa, e Fernandes 2017).

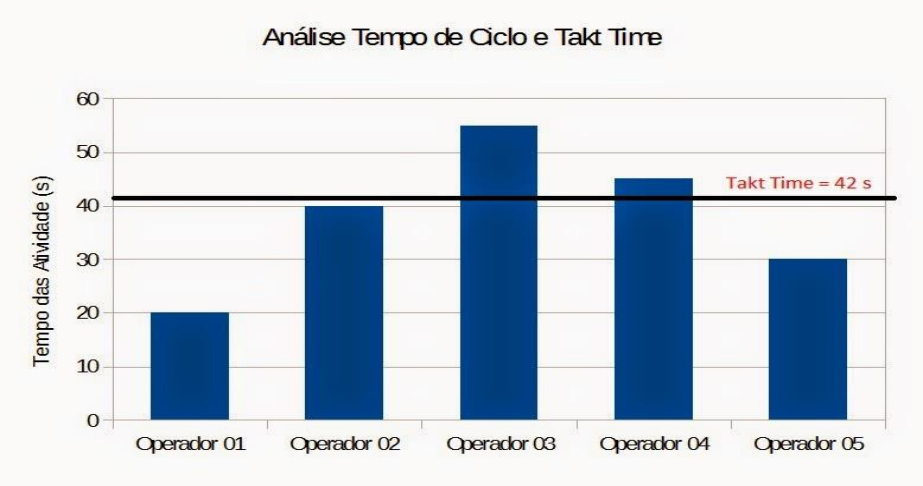


Figura 11 – Gráfico *Yamazumi in* http://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.com/2015/04/calculo-do-takt-time-e-avaliacoes.html, *consultado em 2018-06-12, 15:45.*

2.4.7 Poka Yoke

Poka Yoke (PY) é uma terminologia japonesa que significa sistema à prova de erros e é um mecanismo cujo objetivo é a prevenção, deteção e correção dos defeitos, de forma imediata, durante a produção, evitando que o problema se propague ao longo das estações seguintes. Este método está exemplificado na Figura 12. Se for possível detetar e corrigir os defeitos instantaneamente, mais perdas serão minimizadas ou eliminadas, nomeadamente:

- ✓ **Tratamentos desnecessários**. Se existir um sistema de deteção de erros, não será necessário controlar as caraterísticas monitorizadas pelo sistema PY;
- ✓ **Tempos de espera** porque os produtos podem passar de um passo para o seguinte sem haver a necessidade de ser controlado, i.e., não há tempo perdido no controlo;
- ✓ **Peças defeituosas**. Uma deteção de falha durante a produção permite parar a produção da peça defeituosa (Elrhanimi, El Abbadi, e Bouabdellah 2016).

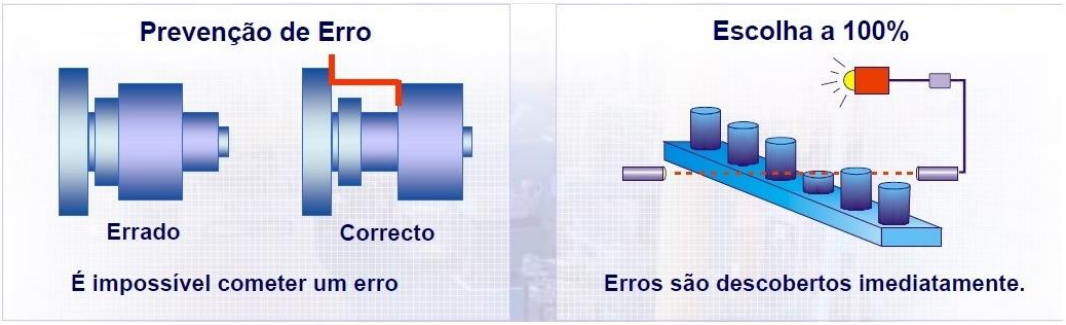


Figura 12 - Exemplos de mecanismos *poka yoke* in Coimbra, 2013.

O mecanismo PY pode ser definido como um dispositivo para prevenir a ocorrência de anomalias durante a execução do processo e também um dispositivo que pode proteger a saúde e dar segurança aos trabalhadores. Os dispositivos PY podem ser classificados como físicos, funcionais ou simbólicos, e também como proativos ou reativos. Os PY proativos devem evitar a ocorrência de erros, enquanto que os reativos devem detetar os defeitos ou anomalias.

Para implementar um mecanismo PY são necessárias três etapas:

- ✓ Definição dos atributos do dispositivo PY;
- ✓ Evidenciar a existência de cada atributo;
- ✓ Desenvolver um sistema de verificação para avaliar o seu resultado.

Relativamente aos atributos, a sua definição deve:

- ✓ Abranger os aspetos de segurança e qualidade dos dispositivos PY;
- ✓ Estar relacionados com o fabrico do produto;
- ✓ Ter fundamentação teórica e ser adequada à produção *Lean*.

Do ponto de vista da produção *Lean*, o mecanismo PY é bastante poderoso na prevenção da ocorrência de defeitos, permitindo atingir a produção com zero defeitos mais rapidamente (Vinod et al. 2015).

2.4.8 PDCA

A melhoria contínua, também denominada de *Kaizen*, é uma filosofia essencial na produção *Lean*. Inicialmente aplicada na área da produção com o objetivo de aumentar a qualidade, a melhoria contínua evoluiu para um princípio de gestão que pressupõe o envolvimento de toda a empresa.

Um método para implementar a melhoria contínua é o ciclo PDCA, que tem as suas raízes na teoria ocidental de gestão da qualidade e foi primeiramente declarado por Walter Shewhart na década de 1930, na forma de ciclo *Plan-Do-Study-Act* (PDSA). Posteriormente, integrado na filosofia de gestão da Toyota, o PDSA evoluiu para PDCA, esquematizado na Figura 13, representando um método fundamental para implementar o princípio *Lean* da melhoria contínua: o *Kaizen* (Schmidt et al. 2014).

Atualmente o ciclo PDCA é utilizado para o controlo e normalização dos mais diversos processos de forma a garantir a satisfação do cliente, sendo constituído por quatro etapas:

- ✓ **Plan** (Planear): devem ser estabelecidos os processos e objetivos e identificar as causas de possíveis erros, com o propósito de criar um plano para atingir a melhoria pretendida;
- ✓ **Do** (Fazer): nesta etapa implementa-se o plano, e recolhem-se os dados;
- ✓ **Check** (Verificar): identificar os problemas no processo e analisar os dados;
- ✓ **Act** (Agir): após comparar os resultados obtidos com os resultados esperados, é necessário atuar sobre o plano, alterando-o caso seja necessário, promovendo a melhoria contínua do processo (Shoji e Kukobo 2016).

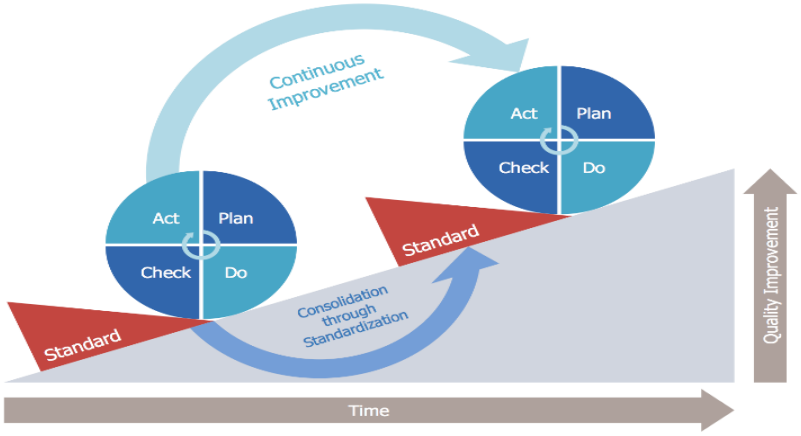


Figura 13 - Ciclo PDCA *in* https://conceptdraw.com/a1739c4/preview, *consultado em 2018-03-22, 09:50.*

Planear envolve analisar os problemas e desenvolver uma ou mais soluções, incluindo um plano de realização. Fazer significa implementar a solução aparentemente mais correta. Verificar envolve observar os resultados alcançados através da solução implementada em comparação com os resultados desejados. Finalmente, agir significa analisar e interpretar as diferenças entre os resultados alcançados e os esperados e procurar novas soluções e planos para a eliminação dessas diferenças. Esta etapa deve ainda incorporar as reclamações e insatisfações do cliente na fase de planeamento do próximo ciclo.

Este procedimento tão genérico torna o PDCA aplicável a qualquer nível de organização, envolvendo indivíduos ou grupos completos, desde desenho e produção até aos níveis de gestão mais elevados.

Ao verificar e controlar continuamente os efeitos das decisões de planeamento e dos resultados da implementação e, subsequentemente, tomar as medidas corretivas se necessário, toda a organização aprende gradualmente e, portanto, pode melhorar os objetivos que pretende alcançar (Schmidt et al. 2014).

3 Caraterização do Estado Inicial

Neste capítulo é apresentada uma breve descrição do produto e do fluxo de materiais desde a entrada em armazém até à sua utilização, e o mapeamento da cadeia de valor na situação inicial, é determinado o *Takt Time* necessário e é analisado o desempenho inicial da linha. Adicionalmente é efetuada uma descrição do processo de montagem, do *Layout* e do estado inicial dos Bordos de Linha e, por fim, é referido o índice inicial de rejeição de peças e os principais problemas associados, sendo descrita a etapa de retrabalhos.

3.1 Apresentação do Produto

O presente trabalho foi desenvolvido num projeto designado por "XBN", que será responsável por produzir peças para a indústria automóvel, mais concretamente sistemas de transmissão automática de velocidades. Genericamente, haverá versões ativas esquerdas, ativas direitas, passivas esquerdas e passivas direitas. A versão ativa constitui uma peça mais elaborada, uma vez que as teclas são táteis, o seu acabamento é de maior qualidade e visualmente mais agradável. A versão passiva representa uma peça mais standard, com botões menos elegantes e com um acabamento mais simples, além do seu acionamento ser mecânico. A diferença entre as versões esquerda e direita está dependente do lado onde se encontra o condutor no veículo, consoante o país destino do consumidor final. Na Figura 14 é apresentado o protótipo da versão passiva esquerda.

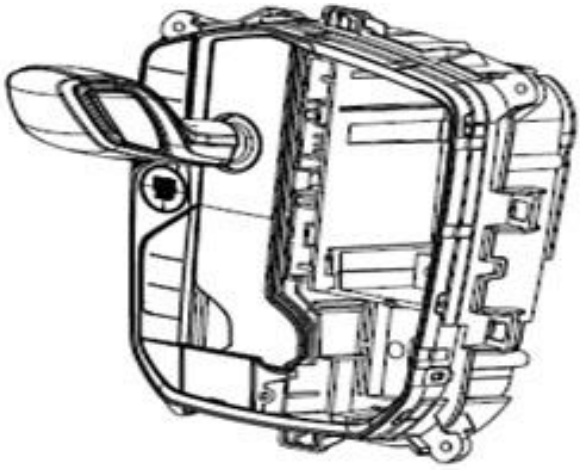


Figura 14 - Protótipo da versão passiva esquerda.

A peça mais completa terá várias funções, desde ligar e desligar o automóvel, ligar a câmara traseira, acionar um determinado modo de condução ou selecionar a suspensão adaptativa - esta função permite ajustar idealmente as caraterísticas dos amortecedores, aumentando o conforto e a dinâmica de condução -, assistente de estacionamento, controlo eletrónico de estabilidade, travão automático de repouso (AUTO H) e travão de estacionamento. No entanto, o cliente terá bastantes opções de escolha, uma vez que existem várias configurações possíveis para a mesma versão. As alternativas passam pela possibilidade de configurar o veículo com ou sem câmara traseira, com ou sem sensores de estacionamento, com ou sem suspensão adaptativa. Além disso, para os veículos elétricos existem os modos "*Sport*", "*Hybrid*" e "*Electric*", com o botão "*Start Stop*", enquanto que para os restantes veículos os modos de condução disponíveis são o "*Sport*", o Comfort", e o "*EcoPro*", com o botão "*Start Engine Stop*". Esta multiplicidade de soluções dará origem a 48 referências diferentes de peças finais, sendo que a maior diferença visual encontrada é nas teclas e nos respetivos símbolos.

3.2 Análise do Processo Produtivo

No decorrer deste trabalho, a linha ainda não se encontrava em produção em série, uma vez que estava em fase de construção e otimização das estações de trabalho. Nesta fase existiam muitos problemas, nomeadamente elevada variabilidade no processo, alto índice de peças rejeitadas e tempos de ciclos elevados.

3.2.1 Mapeamento da Cadeia de Valor e *Layouts* Atuais

De forma a analisar o processo produtivo atual e os respetivos desperdícios existentes, recorreu-se à ferramenta VSM.

O processo inicia-se com a ordem de encomenda por parte do cliente. Após este pedido, o departamento de planeamento é responsável por planear os componentes necessários para obter a produção pretendida. Quando os componentes são recebidos na PP, vão para a "zona Z" (Figura 15), onde é feita a verificação e confirmação das quantidades e dos índices dos componentes. Após a realização desta etapa, se os componentes necessitarem de ser pintados são enviados para a seção de pintura, caso contrário são diretamente enviados para a zona de *Rework*. Após os componentes serem pintados são também enviados para esta zona.

De seguida, os componentes que necessitarem de retrabalho são retrabalhados, enquanto que os restantes são apenas sujeitos a inspeções visuais, com o intuito de verificar se estão em perfeitas condições para serem enviados para a linha de montagem. Depois de retrabalhados e inspecionados, os componentes são colocados em caixas até que sejam necessários na linha de montagem. Quando tal acontecer, os componentes abastecem a linha e são usados na montagem das peças finais. Após o processo de produção estar finalizado, as peças boas são embaladas e enviadas para o cliente, enquanto que as peças com defeito são desmontadas, analisadas e corrigidas, sendo novamente testadas. Se estiverem boas são também enviadas, caso contrário são rejeitadas.

Na Figura 15 é apresentado o layout da PP e o caminho percorrido pelos componentes até chegarem à linha de montagem.

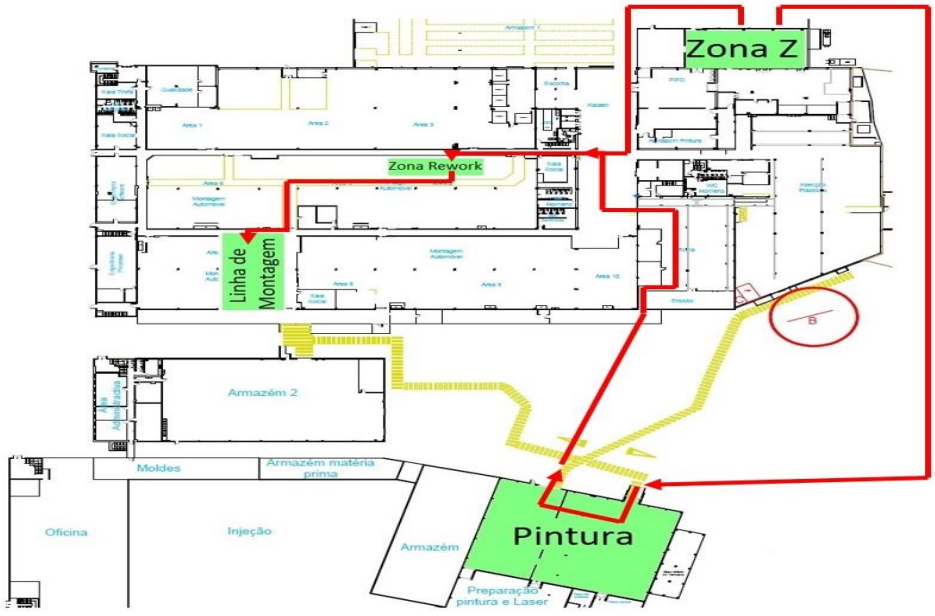


Figura 15 - Layout da PP.

Após acompanhar o fluxo dos materiais foi possível desenhar o mapa da cadeia de valor, representado na Figura 16.

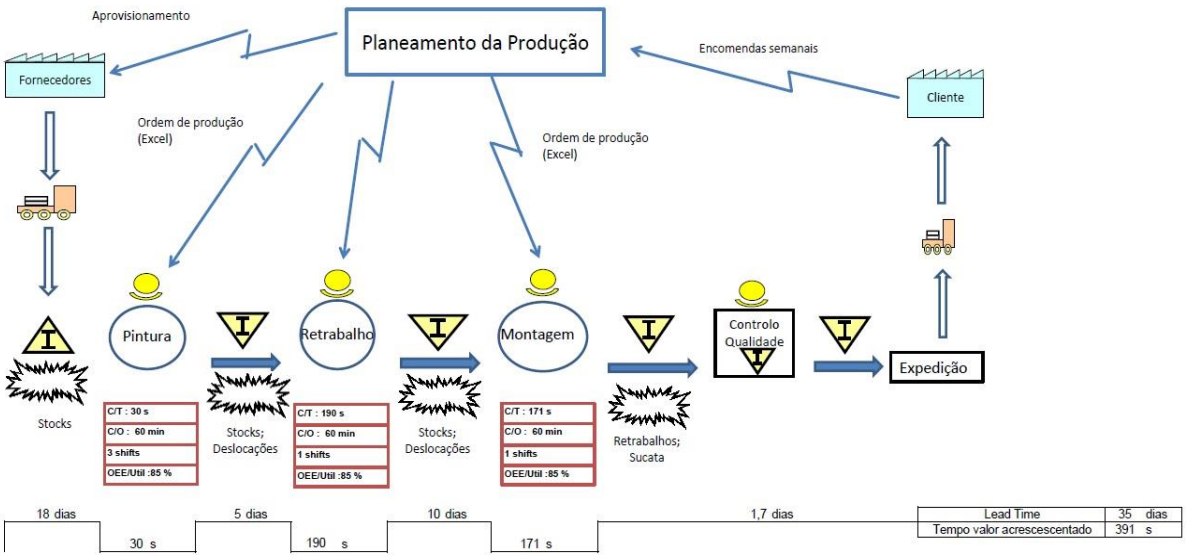


Figura 16 - VSM inicial do projeto XBN.

Pela análise do VSM inicial é possível concluir que existe uma elevada disparidade entre o tempo de valor acrescentado e o *lead time* desde que os componentes chegam até que saem para o cliente como peça final. Esta desigualdade deve-se a determinadas zonas ou fases da cadeia, nomeadamente a Zona Z, onde os componentes permanecem uma média de 18 dias desde o momento em que chegam à PP até serem enviados para a pintura ou para os retrabalhos.

Na Zona Z ocorrem reuniões diárias para discutir se os componentes são os corretos para poderem ser libertados. No entanto, como frequentemente os componentes estão em transição de índice com o objetivo de serem melhorados, e não existe informação inequívoca sobre o índice atual que está a ser utilizado, a decisão é adiada e os componentes acabam por ficar retidos. Além disso, o planeamento dos materiais é feito de forma desorganizada, havendo muitas vezes componentes em falta que não são encomendados e encomendas de elevadas quantidades de componentes que já existiam em stock. Esta situação é ilustrada na Figura 17, onde na imagem esquerda são visíveis componentes que se tornarão obsoletos e que mais tarde serão considerados sucata, acarretando custos desnecessários para a empresa.



Figura 17 - Estado inicial da zona Z e dos retrabalhos, respetivamente.

Outra fase da cadeia onde se cria elevada entropia no fluxo dos materiais é na zona dos retrabalhos. Neste local os componentes provenientes da pintura ou diretamente da zona Z permanecem durante uma média de 5 dias até serem retrabalhados e não há um local próprio para componentes retrabalhados e por retrabalhar, dando origem a misturas de componentes. Os operadores não sabem quais são as caixas com os componentes que se encontram

retrabalhados e as quantidades nelas contidas, o que torna difícil garantir a produção dos planos diários de produção. Frequentemente, quando algum componente se esgota na linha de montagem, o operador da máquina respetiva desloca-se à área dos retrabalhos para repor o componente e verifica que já não há mais quantidades disponíveis, tendo de proceder ao seu retrabalho naquela hora. Os operadores dos retrabalhos vão retrabalhando os componentes à medida das necessidades, sempre numa filosofia *Push*, levando à acumulação de várias caixas de componentes prontos a serem usados na linha de montagem como pode ser observado na Figura 17 à direita, com uma média de permanência na zona dos retrabalhos de 10 dias, dando origem a um *lead time* de 35 dias.

3.2.2 *Takt Time* Necessário

Para iniciar a produção em série é necessário conhecer a frequência de produção de uma peça, recorrendo-se aos dados de planeamento que se apresentam na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de planeamento.

1 - Número de turnos por dia	3
2 – Necessidade máxima do cliente por ano (peças)	587 500
3 - Tempo disponível por turno, (minutos)	480
4 - Número de dias por ano	250
5 - Paragens, (minutos / turno)	20
6 - Limpeza, (minutos / turno)	10

Após o conhecimento dos dados anteriores, é possível determinar o *Takt Time* (TT) através da Equação 3.1.

$$TT = \frac{TDP}{NPD} = \frac{3 \times (480 - 20 - 10) \times 60)}{\left(\frac{587500}{250}\right)} = \frac{81000}{12350} \approx 34\text{s} \tag{3.1}$$

Onde:

TT, é o *Takt Time* [s]
TDP, é o Tempo Disponível para Produção [s], e
NPD, é a Necessidade de Produção Diária [peças].

No entanto, é impossível garantir que o *Overall Equipment Efficiency* (OEE) seja de 100%, sendo calculado pela Equação 3.2.

$$OEE = T \times L \times H \tag{3.2}$$

Onde:

OEE, é o *Overall Equipment Efficiency*
T, é o indicador do tempo operacional global,
L, é o Índice de desempenho operacional, e
H, é o Índice de Qualidade ou índice de aproveitamento de peças boas.

Genericamente, na PP considera-se um índice de rejeição de peças de 5% e um índice do tempo operacional global de 90%, i.e., 10% do tempo disponível é perdido em paragens, devido quer

a *setups* quer a avarias, perfazendo um OEE de 85%. Com estas valores, foi calculado o Tempo de Ciclo necessário através da Equação 3.3.

$$TC = TT \times OEE = 34 \times 85\% = 29\text{s} \tag{3.2}$$

Onde:

TC, é o Tempo de Ciclo máximo da linha
TT, é o *Takt Time*, e
OEE, é o o *Overall Equipment Efficiency* (OEE) definido pela PP.

O valor anterior obtido indica que é necessário produzir uma peça, no máximo, a cada 29s.

3.2.3 Tempo de Ciclo Real

Após determinar o TC máximo da linha, procedeu-se à análise dos tempos e métodos de cada estação de trabalho para uma correta descrição do estado inicial da linha. Para cada estação de trabalho registaram-se 10 medições do tempo de execução e efetuou-se a respetiva média. Os valores obtidos encontram-se na Figura 18.

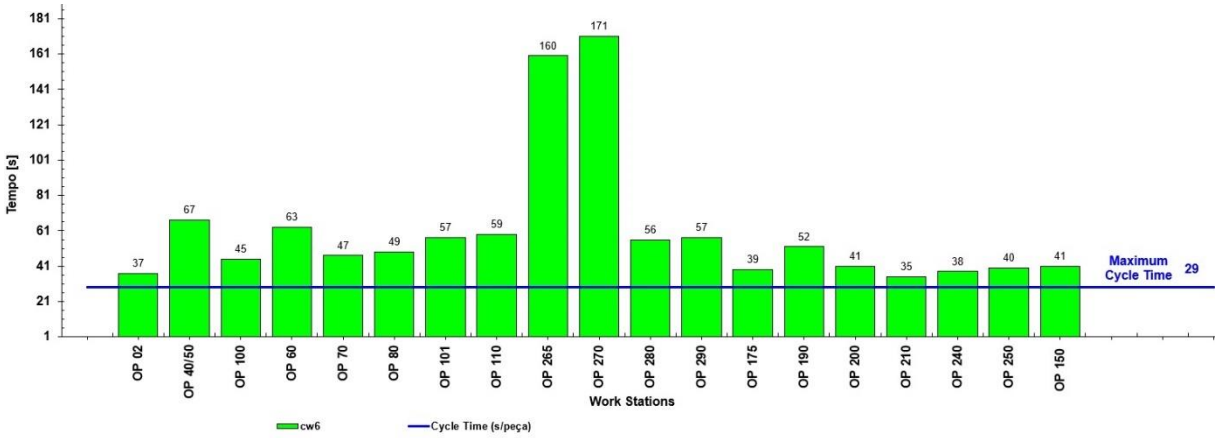


Figura 18 -Tempos de ciclo na situação inicial.

Após a análise dos tempos de ciclo de cada posto de trabalho, verificou-se que o *Botttleneck* (BN) era a estação OP270, com um tempo de ciclo de 171s. Com este BN, e tendo em conta o tempo de trabalho disponível presente na Tabela 1, verificou-se que a capacidade de produção se situava muito abaixo do necessário, como é possível verificar na Equação 3.4.

$$ICP = \frac{CPA}{NP} = \frac{\left(\frac{450 \times 60 \times 3 \times 250}{171}\right) \times 90\%}{587500} = \frac{106579}{587500} = 18\% \tag{3.4}$$

Onde:

ICP, é o índice de Capacidade Produtiva da linha de montagem
CPA, é a Capacidade de Produção Anual da linha de montagem [peças], e
NP, é a Necessidade de Produção máxima anual [peças].

3.2.4 Desempenho Inicial

Com o intuito de medir o desempenho inicial da linha de montagem, calcularam-se alguns parâmetros do processo recorrendo à Equação 3.5, designada por Lei de Little.

$$WIP = TH \times CT \tag{3.5}$$

Onde:

WIP, é o inventário em curso de fabrico
TH, é a taxa de produção, e
CT, é o tempo que uma peça demora a percorrer toda a linha de montagem.

Para determinar qual o inventário em curso que maximiza a taxa de produção e que minimiza o tempo de produção recorre-se à Equação 3.6.

$$Wo = rb \times To = \left(\frac{1}{171} \times 3600\right) \times \left(\frac{1154}{3600}\right) = 21{,}05 \times 0{,}32 \approx 7\, peças \tag{3.6}$$

Onde:

Wo, é o inventário crítico
rb, é a taxa de produção do BN, e
To, é o somatório dos tempos das estações de trabalho.

O valor anterior calculado significa que se deve ter, no mínimo, 7 peças em curso de fabrico. No entanto, este valor deve ser ligeiramente superior, sensivelmente igual ao número de estações de trabalho, que neste caso são 19, de forma a garantir que nenhuma máquina para por falta de peças.

Consultando as informações da taxa de produção da linha no início deste projeto, verificou-se que a linha apenas conseguia produzir 7,6 peças por hora, representando apenas 36,1 % da capacidade inicial do BN. Além disso, analisando a linha e observando as peças existentes contabilizou-se um total de 188 peças em curso de fabrico. Recorrendo à Equação 3.5, pode concluir-se que o tempo real que uma peça demora a atravessar a linha de montagem é de 24,74h. Utilizando os valores obtidos e recorrendo à situação de *CONWIP* - inventário em curso de fabrico constante - para fazer a fronteira entre um estado *Lean* e *Fat*, traçaram-se os gráficos relativos à taxa de produção e do tempo de processamento das peças ao longo da linha, presentes na Figura 19 e na Figura 20.

A fórmula que traduz a taxa de produção para a situação de *CONWIP* encontra-se representada na Equação 3.7, enquanto que o tempo de processamento é representado pela Equação 3.8.

$$TH = \left(\frac{W}{Wo + W - 1}\right) \times rb \Leftrightarrow TH = \left(\frac{W}{8 + W - 1}\right) \times 21{,}05 \tag{3.7}$$

Onde:

TH, é a taxa de produção
W, é o inventário em curso de fabrico
Wo, é o inventário crítico, e
rb, é a taxa de produção do BN.

$$CT = To + \left(\frac{W - 1}{rb}\right) \Leftrightarrow CT = \left(\frac{1154}{3600}\right) + \left(\frac{W - 1}{21{,}05}\right) \tag{3.8}$$

Onde:

CT, é o tempo efetivo de processamento ao longo da linha de montagem
To, é o somatório dos tempos das estações de trabalho
W, é o inventário crítico, e
rb, é a taxa de produção do BN.

Através da análise da Figura 19 é possível concluir que, na situação inicial, a linha se encontrava na região "*Fat*" e bastante distanciada do estado *Lean*. Consultando o gráfico que relaciona a taxa de produção (TH) com o inventário em curso de fabrico (WIP), para o estado inicial de inventário em curso, 188 peças, a linha só seria *Lean* se tivesse uma taxa de produção de aproximadamente 20 peças por hora ou, para a taxa de produção inicial de 7,6 peças por hora, a linha só seria *Lean* se tivesse aproximadamente 4 peças em curso de fabrico.

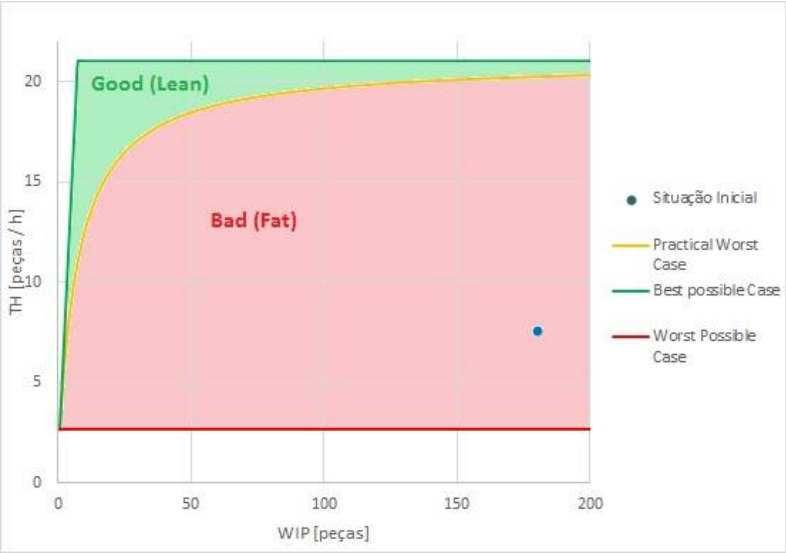


Figura 19 - Desempenho inicial da taxa de produção da linha de montagem.

Relativamente ao gráfico que relaciona o Tempo de processamento (CT) com o WIP, que pode ser observado na Figura 20, a linha também se encontra na região *"Fat"*. Para que a linha fosse *Lean* em termos de tempo de processamento com o WIP inicial, o tempo real que uma peça demora a atravessar a linha de montagem teria de ser de 9,2 horas em vez de 24,74 horas.

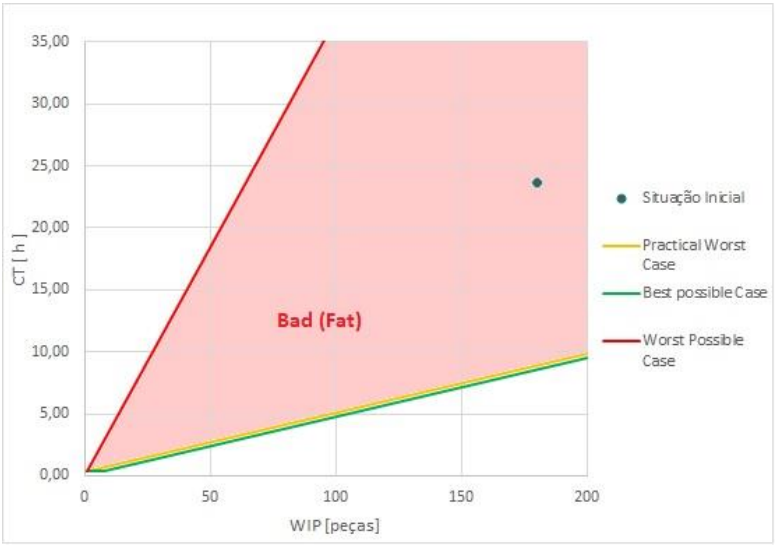


Figura 20 - Desempenho inicial do tempo de processamento da linha de montagem.

Este estado *Fat* é facilmente comprovável através da observação da situação inicial da linha, com vários tapetes transportadores lotados com material em curso de fabrico, representados na Figura 21. Esta imagem demonstra a filosofia *Push* seguida, contribuindo para a acumulação de desperdício, tempo de ciclo elevado e, consequentemente, baixa taxa de produção.



Figura 21 - Estado inicial da linha de montagem.

3.2.5 Eficiência Inicial

Após a medição dos tempos de ciclo e a elaboração do diagrama de precedências, representado na Figura 22, é possível calcular a eficiência inicial da linha de montagem através da Equação 3.9.

$$\varepsilon = \frac{\sum Ti}{N \times TC} = \frac{1154}{19 \times 171} = \frac{1154}{3249} = 35{,}5\% \tag{3.9}$$

Onde:

∑Ti, é o somatório dos tempos de processamento das estações de trabalho
N, é o número de postos de trabalho, e
TC, é o tempo de ciclo inicial da linha de montagem.

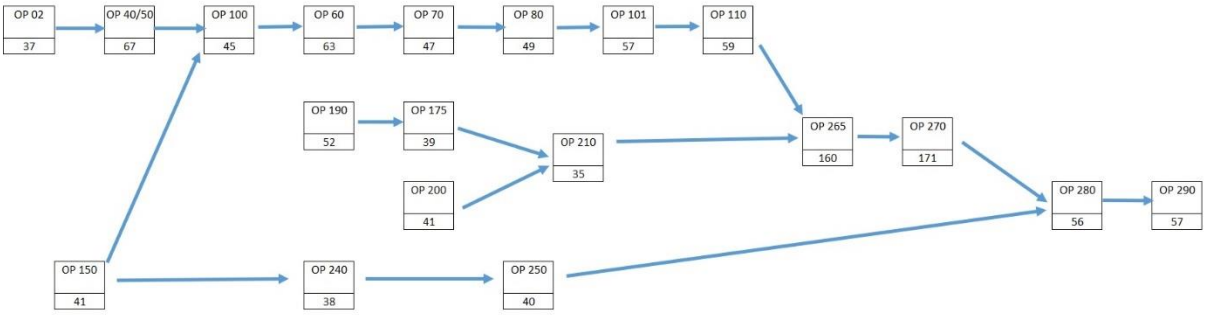


Figura 22 - Diagrama de precedências da linha de montagem.

O tempo de valor acrescentado (∑Ti) é de 1154s e o tempo gasto com cada peça é 3249 s, significando que há uma perda de tempo total de 2095s, originando uma eficiência inicial de 35,5%. Este valor demonstra que a linha de montagem se encontra desequilibrada, com tempos de ciclo muito desfasados, originando elevados tempos de espera em diversas estações de trabalho.

3.2.6 Layout Inicial da Linha de Montagem

Para qualquer uma das versões, o processo de montagem tem início na estação de trabalho OP02, onde se procede à lubrificação de determinados componentes. Este procedimento é essencial, uma vez que vários componentes terão movimentos relativos entre si na peça final, sendo assegurados através do uso de lubrificante em pontos estratégicos. Depois da lubrificação os componentes são enviados para a estação OP40/50, onde se inicia a montagem da peça.

Após esta operação, se a versão a produzir é a ativa, o subgrupo montado segue para a estação OP100, caso contrário segue para a estação OP60, através de um transportador. Para a versão

ativa, na estação OP100 é necessário receber dois componentes que são previamente montados na estação OP150, que se encontra bastante longe. De seguida, a versão ativa segue para a estação OP60. Para ambas as versões o caminho percorrido entre as estações OP60 e OP80 é o mesmo. Para a versão passiva, a estação seguinte é a OP110, enquanto que a versão ativa terá de passar pela OP101 e só depois vai para a estação OP110. No final desta estação, o primeiro subgrupo da peça final está montado, designando-se "*BM*". O protótipo deste subgrupo encontra-se representado na Figura 23.

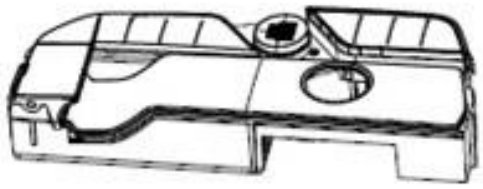


Figura 23 - Subgrupo BM.

O segundo subgrupo da peça final inicia-se na estação OP190, seguindo para a OP175, enquanto a OP200 monta outros componentes. A OP210 monta o conjunto resultante da OP175 com a OP200, dando origem a outro subgrupo da peça final, denominado "GJX", cujo protótipo pode ser observado na Figura 24.

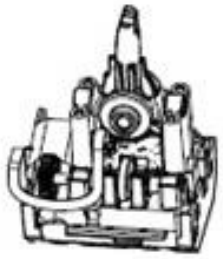


Figura 24 - Subgrupo GJX.

Após os dois subgrupos anteriores estarem montados nas respetivas estações de trabalho, vão para a estação OP265 para serem unidos. Este procedimento é feito tanto para as versões ativas como para as versões passivas. De seguida, a peça passa pela OP270 para ser aparafusada.

O terceiro subgrupo começa a ser montado na OP240 e termina na OP250, denominado por "*CNOV*". Este subgrupo encontra-se esquematizado através do seu protótipo na Figura 25.



Figura 25 - Subgrupo CNOV.

A peça final começa a ficar concluída na OP280, onde é montado o terceiro subgrupo à restante peça, sendo depois aparafusada na OP290. Após esta estação, a peça está completa, sendo de seguida submetida a três testes consecutivos nas estações *OP00*, OP01 e EOL. Se a peça tiver passado nas três estações de teste pode ser embalada para posteriormente ser enviada para o cliente. O *layout* inicial da linha de montagem pode ser consultado na Figura 27.

3.2.7 Postos de Trabalho e Bordos de Linha

No início deste trabalho os postos de trabalho encontravam-se desajustados e sem ergonomia, enquanto que os Bordos de Linha (BL), em certas estações de trabalho, encontravam-se desorganizados e distantes da área de valor acrescentado (AVA). Na Figura 26 à esquerda, é possível verificar que os componentes não estavam claramente identificados, levando à ocorrência de vários erros, nomeadamente o uso de componentes errados na montagem de determinadas peças, conduzindo à necessidade de as desmontar manualmente. Já à direita da Figura 26, pode ser observado que vários bordos de linha não tinham qualquer identificação dos componentes associados, situação que levava frequentemente à sua colocação no local errado, originando uma mistura de várias referências no mesmo bordo de linha. Quando tal acontece, a sua separação torna-se extremamente difícil, uma vez que há componentes que são muitos semelhantes, nomeadamente os condutores de luz.

A deficiente identificação dos BL tinha como principais consequências o desperdício de componentes, pois certos componentes não são reutilizáveis quando são montados numa peça, e o desperdício de mão-de-obra, quer pela necessidade de desmontar as peças erradamente montadas, quer pela necessidade de separação dos componentes quando misturados.



Figura 26 - Bordos de Linha na situação inicial.

Quanto ao abastecimento dos BL, como a linha de montagem não era abastecida pelo comboio logístico, sempre que um componente se esgotasse numa estação de trabalho, o respetivo operador era responsável pelo seu abastecimento. Na Figura 27 estão representados os movimentos que três operadoras têm de efetuar para abastecer os respetivos bordos de linha. A preto está representado o caminho da operadora da estação OP40/50, que tem de se deslocar desde a sua estação até à estação OP02 para recolher os componentes lubrificados e voltar para o seu posto de trabalho, num total de cerca de 20 m. A azul está representado o movimento da operadora da estação OP100, que tem de se deslocar até à estação OP150 para recolher dois componentes pré-montados e voltar para a sua estação de trabalho, num total de 30 m. A vermelho está representado o caminho percorrido pela operadora da estação OP265, que tem de se deslocar até à estação OP210 para recolher os subgrupos GJX pré-montados e voltar para a sua estação de trabalho, num total de cerca de 30 m percorridos. Relativamente às restantes estações, os respetivos operadores têm de se deslocar até à zona de *Rework*, caminho representado na Figura 15, percorrendo um total de 100 m. Estes movimentos desnecessários deixam os operadores das estações seguintes em *starving* durante vários minutos, originando grandes quebras de produção.

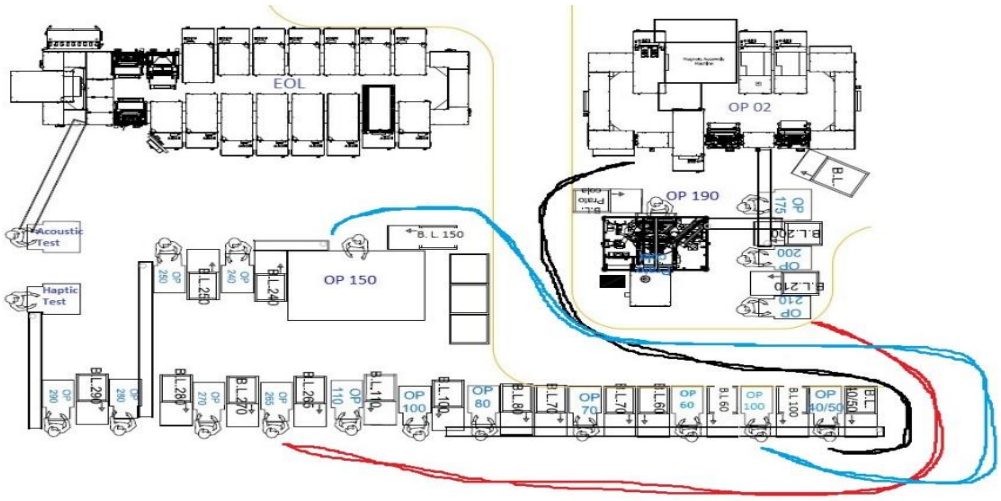


Figura 27 - Diagrama de Spaghetti dos movimentos dos operadores na linha de montagem.

Além disso, frequentemente as operadoras não possuem as ferramentas necessárias para a realização do seu trabalho. Em estações de aparafusamento, é necessário haver uma chave torx, para quando o aparafusamento for mal efetuado a operadora desaperte e remova o parafuso de imediato. No entanto, constatou-se que as chaves raramente estão no posto de trabalho correto. Além disso, na estação OP101, onde são colocadas esferas de silicone, este procedimento é feito de forma manual pela operadora, usando uma pinça para o efeito. Mais uma vez, constatou-se que a pinça não se encontrava na estação de trabalho, tendo a operadora que questionar os restantes colegas acerca da localização da mesma. Esta falta de ferramentas nas estações de trabalho origina quebras frequentes na produção, deixando as máquinas seguintes em espera, contribuindo para o desperdício.

3.2.8 Rejeição de Peças

Com o objetivo de avaliar o nível inicial da qualidade das peças finais, no início da realização da presente dissertação foram recolhidas diversas amostras dos resultados das estações de teste. Nestas estações são avaliados diversos parâmetros na peça, testando a acústica, o *Haptic*, o acionamento do motor e do atuador, o acionamento mecânico dos botões, o aparafusamento, o software, a iluminação, entre outros. Os testes iniciam-se no *Haptic*, seguindo-se a acústica e o aparafusamento. Depois a peça é colocada na estação automática e vai testar o acionamento dos botões e depois o software. O teste termina com a análise da iluminação da peça em modo noturno. Caso esteja tudo em conformidade, a peça é libertada e está pronta a ser verificada pela qualidade.

Após recolher os dados sobre os testes às peças, construiu-se um diagrama de Pareto para analisar as principais causas de rejeição das peças. O diagrama de Pareto é uma ferramenta muito útil, pois permite a priorização dos problemas, uma vez que, historicamente, 80% das consequências advêm de 20% das causas, possibilitando uma fácil visualização e identificação dos problemas mais relevantes.

Na Figura 28 está representado o diagrama de Pareto dos problemas na situação inicial, sendo possível concluir que o *KeyMechanical* é a principal causa para a rejeição das peças, representando 31,6% das rejeições. Este problema está relacionado com o acionamento das teclas e com os testes à força necessária a aplicar, que se encontra fora dos limites de especificação.

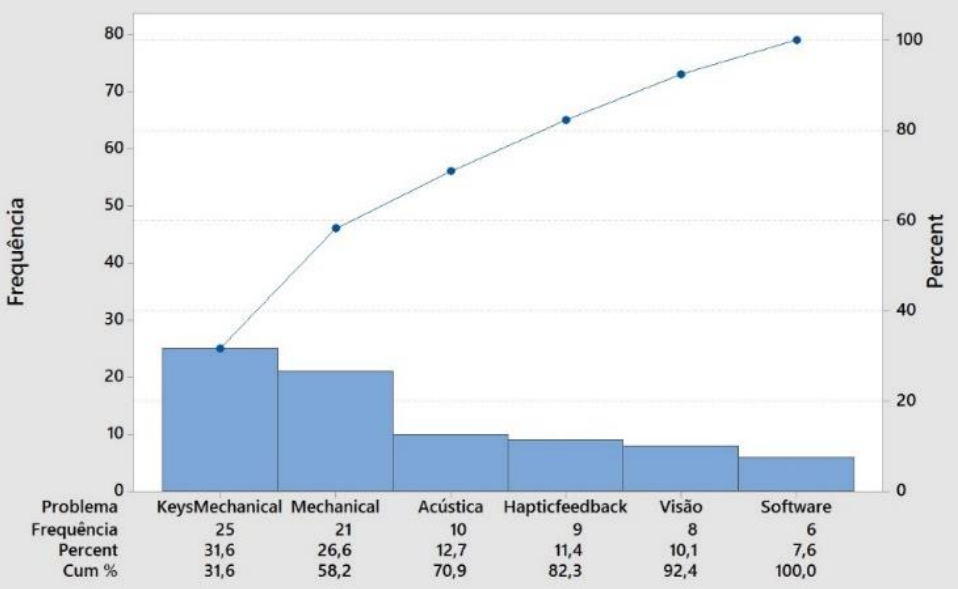
A segunda principal causa de rejeição de peças é *Mechanical*, com 26,6% de rejeição. Este problema está associado ao mau aparafusamento.

O terceiro problema é a "Acústica" com uma ocorrência de 12,7%. Este problema relaciona-se com o ruído produzido pelas peças, que se encontra acima do limite admissível.

O quarto problema - *HapticFeedback* - perfaz 82,3% dos problemas encontrados, constituindo 11,4% dos problemas. Este problema relaciona-se com o excesso de oscilação horizontal das teclas, quando estas são submetidas a um regime de excitação forçada.

Os restantes problemas, Visão e Software, que representam 10,1% e 7,6% respetivamente, relacionam-se com os defeitos encontrados nos símbolos das teclas ou com a intensidade luminosa que se encontra fora dos parâmetros pretendidos e com falhas a nível do software das máquinas, nomeadamente encravamento dos programas aquando da sua execução, levando à rejeição das peças e representando, frequentemente, falsas rejeições.

Pode concluir-se que os primeiros quatro problemas constituem as causas mais importantes, devendo-se concentrar os esforços sobre os mesmos.



Problema	KeysMechanical	Mechanical	Acústica	Hapticfeedback	Visão	Software
Frequência	25	21	10	9	8	6
Percent	31,6	26,6	12,7	11,4	10,1	7,6
Cum %	31,6	58,2	70,9	82,3	92,4	100,0

Figura 28 - Diagrama de Pareto das causas de rejeição de peças na situação inicial.

Além disso, verificou-se um índice de rejeição de 79%, distribuídos pela estação de teste e pelo controlo de qualidade.

Desta forma, sabendo que a capacidade de produção da linha de montagem é de 100.658 peças por ano, valor calculado com a Equação 3.4, foi calculada a capacidade de resposta às necessidades do cliente através da Equação 3.10.

$$CR = \frac{CPA \times H}{NP} = \frac{106579 \times 21\%}{587500} = 3{,}8\% \qquad (3.10)$$

Onde:

CR, é o índice de Capacidade de Resposta à procura do cliente
CPA, é a Capacidade de Produção Anual da linha de montagem [peças]
H, é o Índice de Aproveitamento de peças boas, e
NP, é a Necessidade de Produção máxima anual [peças].

A análise do resultado da Equação 3.4 permite concluir que a linha de produção apenas consegue entregar cerca de 4% da necessidade máxima anual do cliente, quer por elevadas ineficiências na linha de montagem, quer pela qualidade das peças finais.

3.2.9 Retrabalhos

A zona de retrabalhos é essencial antes dos componentes serem abastecidos à linha de montagem. Como se trata de uma linha em pré-serie, os componentes são constantemente alterados com o objetivo de atingir a solução final e iniciar a produção em série. Quando se deteta que o protótipo de um componente não funciona na solução final, por exemplo não encaixando, criando atrito ou causando vibração na peça, fazem-se pequenas alterações nos componentes para tentar solucionar o problema e voltam a testar-se as peças. Se o problema persistir, não é essa a causa real, abandonando-se de imediato a alteração. No entanto, se o problema deixar de existir, então é necessário proceder-se a essa alteração, contactando o fornecedor de imediato. Porém, como a grande maioria dos componentes que são retrabalhados são peças plásticas, uma alteração no seu protótipo implica também uma alteração no respetivo molde, processo que demora várias semanas. Por este motivo, é necessário ter operadores a retrabalhar os componentes até que os novos componentes, já com a respetiva alteração, cheguem à PP.

No início deste trabalho, existia um total de 82 retrabalhos necessários, distribuídos por 5 tipos diferentes. Na Tabela 2 é possível observar a quantidade de retrabalhos associada a cada tipo de retrabalho.

Tabela 2 - Tipos de retrabalhos e quantidades associadas.

Tipo retrabalho	Número de retrabalhos
Corte	29
Escolhas	24
Colagem	14
Lubrificação	9
Outros	6
Total	**82**

O corte é o retrabalho mais realizado, com um total de 29 retrabalhos, estando associado a partes de componentes que têm de ser removidos, quer por não encaixar noutro componente que por eventual ruído criado. As escolhas constituem o segundo retrabalho mais realizado, sendo necessário em 24 componentes, devido a defeitos existentes que podem prejudicar o bom funcionamento das peças. A colagem é feita em 14 componentes, e é utilizada essencialmente para reduzir o ruído das peças. A lubrificação é usada em 9 componentes com o intuito de melhorar o funcionamento das teclas. O retrabalho designado por “Outros” consiste na pré-montagem entre dois componentes, pois nesta fase as suas conceções não estão otimizadas e são necessários instrumentos auxiliares para a correta montagem.

Na Tabela 3 estão representadas as causas de rejeição das peças e o número de retrabalhos associado.

Tabela 3 - Causas de rejeição e retrabalhos associados.

Causa	Retrabalhos associados
KeysMechanical	29
Acústica	29
Visão	17
HapticFeedback	4
Mechanical	3
Outros / NA	2
Total	**84**

Pela análise da Tabela 3 pode concluir-se que o *KeysMechanical* e a Acústica são os problemas com mais retrabalhos associados. Em oposição, a causa "Outros / NA" apresenta apenas 2 retrabalhos associados, em que um está relacionado com a impossibilidade de encaixe entre dois componentes caso não se efetue um corte, e outro constitui um corte que é necessário realizar num componente, mas não é conhecida a sua causa. A diferença entre o total de retrabalhos da Tabela 2 e da Tabela 3 deve-se a dois retrabalhos que são usados para tentar colmatar dois problemas simultaneamente.

4 Apresentação do Trabalho Desenvolvido

Neste capítulo apresentam-se as ações implementadas durante a realização deste projeto, a avaliação dos resultados obtidos e algumas propostas de melhoria.

4.1 Análise dos Postos de Trabalho Críticos

Com base nos dados recolhidos e apresentados no capítulo 3, identificaram-se várias imperfeições e detetaram-se os 7 tipos de desperdício referidos no subcapítulo 2.1.3, sendo necessário implementar várias ferramentas *Lean* para que a linha de montagem obtenha ganhos de produtividade.

4.1.1 Estação OP270

O primeiro passo a dar quando se pretende melhorar uma linha de produção é proceder à análise do BN. Pela análise dos tempos de ciclo presentes na Figura 18, o BN da linha de montagem é a estação OP270, com um tempo de ciclo de 171s. Este valor representa 5,7 vezes mais do que o tempo de ciclo exigido para a máquina. Esta estação engloba diversas operações, nomeadamente a montagem e dobragem de dois cabos e respetivas deteções por câmara, inserção de uma "*Back Cover*" e aparafusamento de 4 parafusos.

Analisando a distribuição do tempo total de operação, presente no Anexo A, pode ser verificado que a operação mais demorada é o aparafusamento, devido às constantes falhas da aparafusadora, seguindo-se a montagem dos cabos. Relativamente ao aparafusamento, este dura cerca de 90s, com uma média de 18s por parafuso, o que é um valor elevado, uma vez que cada parafuso deve ser aparafusado em 5s. Por este motivo, analisou-se o funcionamento da aparafusadora, foram registados os modos de falha de várias amostras e foi construído o diagrama de Pareto correspondente, também apresentado no Anexo A. Pela análise do diagrama, é possível concluir que os principais modos de falha da aparafusadora se devem ao elevado torque, à interrupção no aparafusamento e ao tempo excedido, com um total de 88% das falhas. No entanto, a causa raiz não é conhecida, sendo necessário realizar essa análise. Este procedimento foi feito usando a ferramenta 5W e está representado na Tabela 4.

Tabela 4 - Modos de falha da aparafusadora da OP270.

	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?
Falha no aparafusamento	Torque	Torque máximo pré-definido ultrapassado	Diâmetro do furo abaixo do recomendado	Variações dimensionais no produto injetado	**Contração/ Dilatação do produto injetado durante o processo de injeção**
	Interrupção	Aparafusamento interrompido	A operadora largou a máquina antes de concluir o aperto	Ausência de hábitos de trabalho	**Falta de treino e de normalização do trabalho**
			Switch desativado	Bit perde contacto com o parafuso durante o aperto	**Bit danificado**
					Falta de concentricidade dos furos durante o aperto
	Tempo	Tempo de execução da tarefa excedeu o pré-estabelecido	Ferramenta não alimentada	Máquina alimentadora vazia	**Desatenção da operadora**

Após a análise, foi possível concluir que as causas raízes se devem ao material injetado e à falta de treino da operadora.

Relativamente ao material injetado, verificou-se que o problema no aparafusamento ocorria sempre no mesmo furo e, após sucessivas medições, verificou-se que este furo era ligeiramente inferior aos restantes. Por esse motivo, o torque necessário para efetuar o aparafusamento era superior, levando à falha do aparafusamento por elevado torque. A solução passou por criar um programa específico para este furo, com um limite de torque ligeiramente superior, tendo sido necessário criar uma sequência de aparafusamento em função dos furos existentes e explicá-la

à operadora. Para evitar futuros erros foi marcada a sequência de aparafusamento na respetiva máscara.

Em relação às desatenções da operadora, criaram-se listas de confirmação para que no início de cada turno seja verificada a quantidade de parafusos existentes na máquina alimentadora, apresentada no Anexo B. Caso não existam parafusos, a operadora abastece a máquina alimentadora.

Enquanto que a aparafusadora apresenta elevado tempo de operação devido às constantes falhas, a montagem dos cabos é bastante demorada pela sua complexidade. Assim, não é possível acoplar esta operação às restantes, pois o tempo de ciclo exigido é de 29s, e só a operação de montagem dos cabos demora 63s. Devido a esta limitação, decidiu criar-se um suporte apenas para a montagem dos cabos, constituindo um novo posto de trabalho, designado por OP268 e representado na Figura 29.



Figura 29 - Suporte criado para a montagem dos cabos.

No entanto, apesar de ter sido criada uma nova estação para a etapa da montagem dos cabos, o tempo de ciclo constituía mais do dobro do requerido. Tal facto deve-se à necessidade de conectar o cabo e depois dobrá-lo em três zonas diferentes, devido ao seu elevado comprimento. Estas dobragens não acrescentam valor ao produto, sendo necessário minimizar o tempo despendido. A solução encontrada passou por encurtar o comprimento do cabo, como pode ser observado na Figura 30.



Figura 30 - Comprimento do cabo na situação inicial e final, respetivamente.

Com a redução do comprimento do cabo, o operador apenas tem de garantir a conexão do cabo e o correto acondicionamento na peça plástica, tal como acontecia na situação inicial, removendo as operações de dobragens.

4.1.2 Estação OP265

De seguida, apresenta-se a estação OP265, com 160s. A maior parte do tempo perdido é também no aparafusamento. A análise à causa raiz pode ser verificada na Tabela 5, seguindo o mesmo método da análise da estação OP270.

Tabela 5 - Modos de falha da aparafusadora da OP265.

	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?
Falha no aparafusamento	Interrupção	Aparafusamento interrompido	Switch desativado	bit perde contacto com o parafuso a apertar	**Parafuso mal guiado**
	Limite de tempo	Tempo de execução fora do pré-definido	Parafuso não consegue abrir rosca	falta de concentricidade do parafuso com o furo	**Mau guiamento do parafuso**

Pela consulta da Tabela 5, os problemas relacionados com o aparafusamento devem-se ao mau guiamento do parafuso até ao furo. Foi verificada a ausência de concentricidade entre o parafuso e furo, originando um desgaste precoce do *bit*. A solução encontrada foi adaptar uma ponteira na extremidade da aparafusadora, permitindo um correto guiamento do parafuso até ao furo, garantindo que este inicia o processo de roscagem na vertical, sem inclinação. Esta adaptação pode ser observada na Figura 31.



Figura 31 - Aparafusadora com o *bit* e com a adaptação da ponteira, respetivamente.

4.1.3 Estação OP290

Na estação OP290 detetou-se uma etapa sem valor acrescentado. Após a mesa se deslocar para o interior da máquina para fazer a inspeção da conexão de um cabo, a porta exterior é fechada e só depois se inicia o processo de inspeção. Após esta etapa, há novamente um tempo de espera para que a porta efetue o movimento de abertura, e só depois é que a mesa avança para o exterior da máquina. No entanto, o processo de fecho da porta é desnecessário, visto que a luminosidade do exterior não afeta o processo de deteção do cabo. Além disso, como não há nenhum processo de calcagem de componentes nesta etapa, também não coloca em risco a segurança do operador.

Na Figura 32 está representada a remoção do fecho da porta durante a inspeção do cabo.

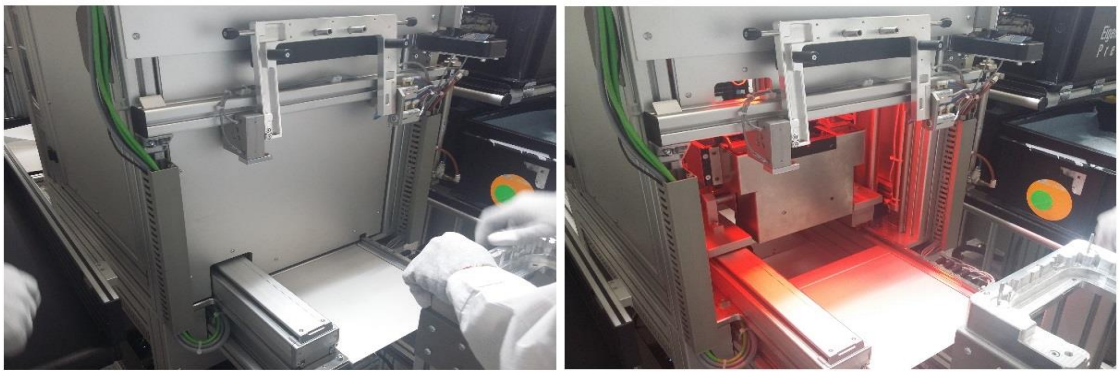


Figura 32 - Inspeção do cabo no estado inicial e no estado atual, respetivamente.

4.1.4 Estação OP280

A estação OP280 constituía uma fonte de problemas, uma vez que uma simples desatenção do operador podia levar à montagem da versão errada numa peça final, levando posteriormente à rejeição das peças. Este problema ocorria porque não havia nenhum mecanismo que detetasse que o subgrupo montado na peça não era o correto. Desta forma, inseriu-se um scanner nesta estação para passar a ler a etiqueta de rastreabilidade do CNOV e a verificação da versão passou a ser feita por software. Foi implementado o mecanismo *poka yoke* em que, no caso do subgrupo lido no scanner não corresponder à versão que está a ser produzida nesta estação, o display emite uma luz vermelha acompanhada do aviso de que o subgrupo introduzido não corresponde à referência que está a ser produzida. Enquanto o operador não retirar o CNOV errado e introduzir a versão correspondente à correta referência final da peça, a máquina não deixa continuar a operação e não liberta a peça para a estação seguinte. Na Figura 33 está representada a estação OP280 antes e depois da implementação do scanner.

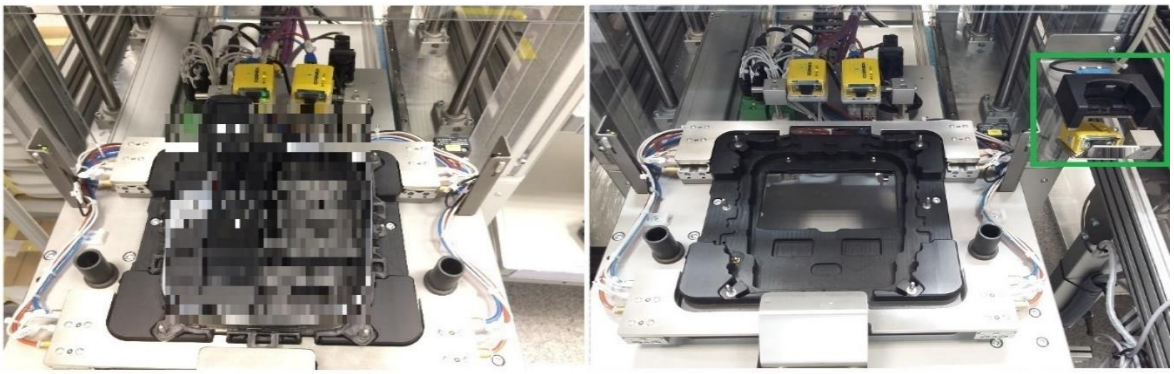


Figura 33 - Implementação do scanner para evitar propagação de erros na OP280.

Com esta implementação, se o operador tentar retirar a peça manualmente e colocá-la na estação seguinte, a máquina seguinte vai emitir um sinal de erro e não permite continuar o processo de montagem. Assim, impede-se a produção das peças defeituosas e evita-se a propagação do erro.

4.1.5 Estação OP40/50

Na estação 40/50 inicia-se o processo de montagem dos componentes, sendo necessário assegurar que todos os componentes são montados. Por vezes, por esquecimento, a operadora não inseria um dos componentes e não havia nenhum mecanismo para detetar esse erro. A falta de normalização do trabalho e o treino da operadora constituíam verdadeiros obstáculos à correta montagem dos componentes. Para ultrapassar este problema foram instalados sensores de proximidade, representados na Figura 34. Estes sensores permitem detetar a presença dos

componentes, garantindo que todos são montados na peça. Se o sensor não detetar todos os componentes, a máquina não desencrava a peça para que esta seja colocada na estação interior. Estes sensores foram também instalados nas restantes máquinas pelos mesmos motivos.



Figura 34 - Implementação dos Sensores de proximidade.

Depois da máquina libertar a peça da estação exterior, a operadora tem de colocar a peça na estação interior para se efetuar a calcagem e medição dos componentes montados. Esta medição é feita por potenciómetros analógicos. Nesta etapa, é feita a medição de duas borrachas, usando para o efeito quatro potenciómetros, dois por cada borracha. Contudo, por vezes essa medição gerava problemas e originava a rejeição da peça, uma vez que a borracha é deformável e havia dois potenciómetros independentes para a medição.

A solução encontrada passou por substituir cada par de calcadores por um único calcador com a forma da borracha e com um único potenciómetro, representado na Figura 35. As duas borrachas passaram a ser medidas por dois potenciómetros, ao invés dos quatro inicialmente usados. Esta medida permitiu reduzir os erros de medição nas borrachas que levavam à rejeição das peças e reduzir o tempo de processamento do software.

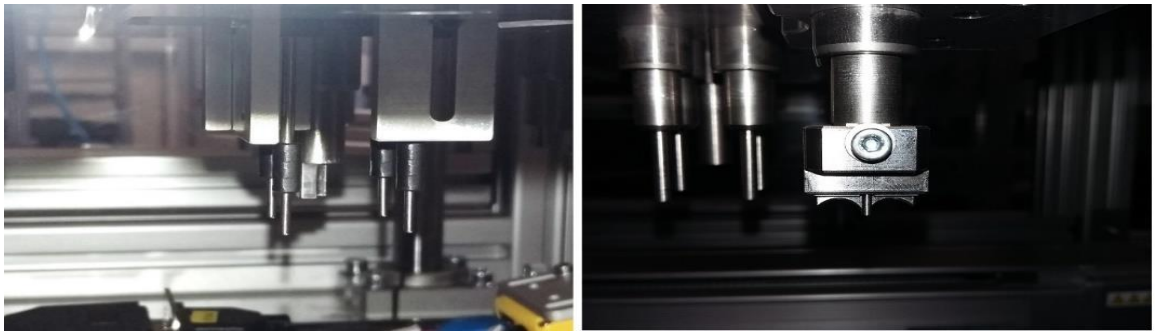


Figura 35 - Alteração dos calcadores na OP40/50.

Constatou-se também que os movimentos de avanço e recuo da mesa eram muito lentos. Estes movimentos têm um impacto importante no tempo de ciclo porque este dispositivo tem um comprimento superior ao de outras máquinas, como pode ser observado na Figura 36, sendo fundamental otimizá-los. Com este intuito, foram definidos dois modos para os movimentos da mesa: modo segurança para o exterior da máquina, que constitui um movimento lento em que a operadora consegue parar a mesa exercendo pouca força; e modo velocidade para o interior da máquina, onde a operadora não consegue ter acesso porque a porta de proteção está fechada, garantindo a sua segurança. O modo velocidade permitiu reduzir o tempo perdido nos movimentos da mesa dentro da máquina.



Figura 36 - Comparação de comprimentos entre a OP40/50 e OP100, respetivamente.

4.1.6 Estação OP60

Relativamente à OP60, cujo tempo de ciclo também se apresenta crítico, verificou-se que os operadores frequentemente colocavam condutores de luz nas versões erradas, levando posteriormente à necessidade de desmontar a peça para as suas remoções. Tal erro era cometido pois não havia nenhum mecanismo que impedisse os condutores de luz de entrar nas versões erradas das peças. Desenvolveu-se então um sistema *poka yoke* nos próprios condutores de luz de forma a que estes só encaixem nas versões corretas. Este mecanismo, representado na Figura 37, ajuda a combater a desatenção dos operadores e previne a necessidade de retrabalhar as peças.

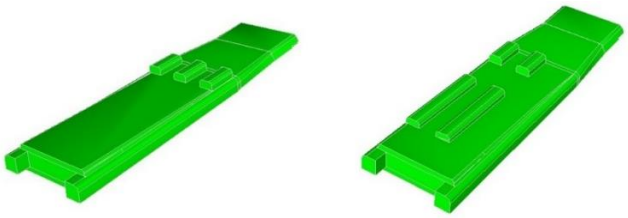


Figura 37 - Mecanismo *poka yoke* criado no condutor de luz da OP60.

Outro erro cometido nesta estação de trabalho é a colocação errada do botão e das teclas. Para a mesma versão há dois botões possíveis: "*Start Engine Stop*" e "*Start Stop*". Relativamente às teclas, há várias configurações possíveis. A inserção dos sensores de distância apenas deteta a presença do botão e das teclas, não conseguindo fazer qualquer distinção entre as diferentes versões.

Para ultrapassar este erro, foram instalados sensores de visão capazes de detetar os contornos, as cores, os contrastes e a versão dos botões e das teclas. No caso das teclas e/ou o botão não corresponder à versão que está a ser produzida, a máquina emite um sinal de aviso ao operador e não deixa continuar o ciclo enquanto as teclas e/ou o botão não forem corretos, evitando que a máquina calque e monte a peça erradamente. Este sensor está representado na Figura 38.

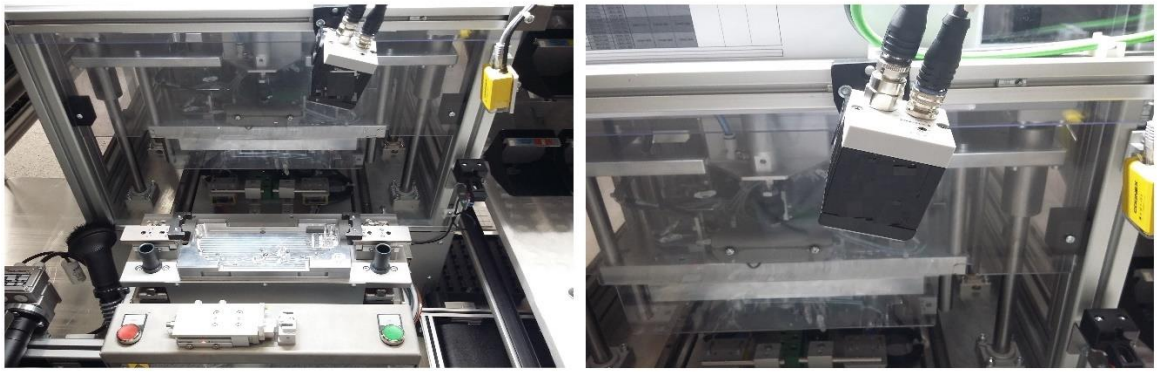


Figura 38 - Instalação do sensor de visão.

4.1.7 Estação OP110

A estação OP110 apresentava no estado inicial um tempo de ciclo de 59s, sendo essencial remover os tempos improdutivos. Os principais passos executados neste posto são a conexão de três cabos, seguindo-se a sua inspeção no interior da máquina. Após esta etapa estar concluída, é necessário aparafusar a placa eletrónica à peça plástica. Estimando-se cerca de 4s para cada parafuso, num total de 5 necessários, e cerca de 7 segundos para a inspeção dos cabos, onde 4 segundos são usados para o avanço e recuo da mesa e 3 segundos para a inspeção dos cabos, sobrando apenas 2 segundos para efetuar a ligação dos cabos. No entanto, o tempo esperado para ligar os cabos é de 6 segundos, i.e., 2 segundos por cada cabo.

Com o intuito de eliminar o tempo da ligação dos cabos, criou-se uma estação exterior para que, enquanto a peça é submetida ao teste de visão em relação à conexão dos cabos na estação interior, a operadora está, em paralelo, a montar os cabos na próxima peça na estação exterior. Na Figura 39 está representada a implementação da estação exterior.

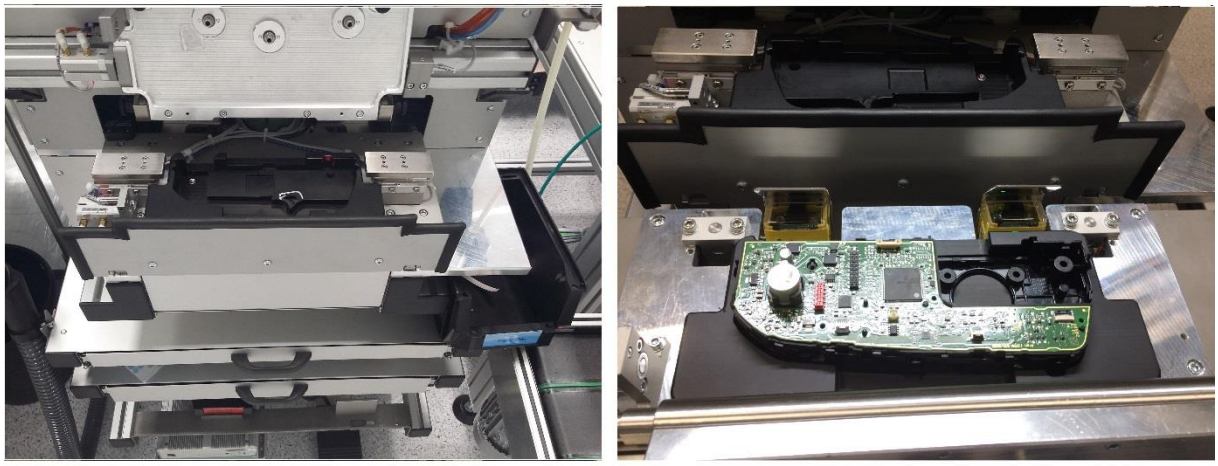


Figura 39 - Inserção da estação exterior na OP110.

Com a inserção da estação exterior, os 6 segundos da ligação dos cabos são eliminados do tempo de ciclo, pois são inferiores ao tempo necessário para efetuar a inspeção dos cabos, e a operadora não tem de esperar até que a inspeção dos cabos finalize para iniciar o aparafusamento.

4.1.8 Estação OP101

Relativamente à OP 101, esta apresenta 57s de tempo de ciclo, representando praticamente o dobro do exigido. Nesta estação são colocadas 9 esferas de silicone e encaixadas as teclas respetivas. Constatou-se que cerca de 6s eram usados para colocar as teclas e os restantes 51s eram utilizados para colocar as esferas, representando mais de 5s por cada esfera. Este valor tão elevado deve-se à colocação totalmente manual das esferas, com o auxílio de uma pinça. Para que esta estação estivesse dentro do tempo de ciclo, cada esfera só poderia demorar 2,6s a ser colocada, o que é praticamente impossível com o processo manual, mesmo depois da normalização do trabalho e do treino dos operadores.

A solução encontrada passou por substituir a estação manual por uma automática, onde um robot é responsável por colocar as 9 esferas de silicone, sendo de seguida verificada a sua presença. Quando forem detetadas as nove esferas, a operadora apenas coloca as teclas na peça e a máquina efetua o processo de calcagem, terminando as operações nesta estação. A Figura 40 ilustra a estação inicial e a estação atual, respetivamente.

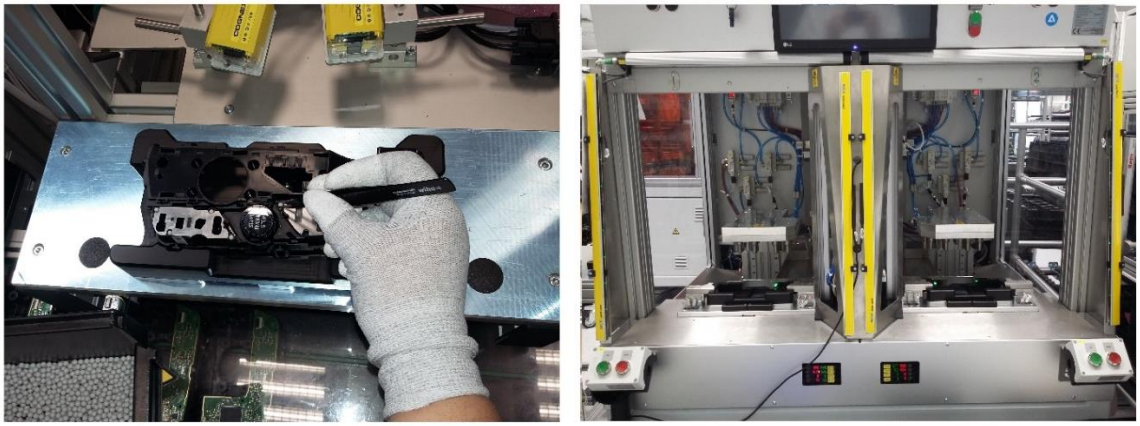


Figura 40 - Colocação manual e automática das esferas de silicone, respetivamente.

A máquina foi construída com duas estações, de forma a trabalhar em paralelo, i.e., enquanto o robot está a inserir as esferas numa estação, a operadora está a colocar as teclas na outra estação, permitindo reduzir o tempo de ciclo da estação de trabalho e manter a operadora ocupada durante o ciclo do robot.

4.2 Estações de aparafusamento

Nas estações com aparafusadoras, nomeadamente na OP110, OP240, OP265, OP270 e OP290 detetou-se um consumo de tempo desnecessário durante o processo de chamada do parafuso durante o aparafusamento.

Inicialmente este processo era feito por software, i.e., o controlador da aparafusadora, apresentado no Anexo C, media o torque e o ângulo durante o aparafusamento e estes valores eram enviados para a máquina e o software era responsável por interpretar estes valores. Caso estivessem dentro dos limites pré-estabelecidos, o software validava o aparafusamento e enviava a ordem de novo *reload* para o controlador, e este era responsável por puxar o próximo parafuso. Este processo foi alterado, passando o *reload* a ser feito diretamente pelo controlador. Durante o processo de aparafusamento, o controlador mede o ângulo e o torque e interpreta diretamente os resultados. No caso de os valores serem os esperados, o controlador emite imediatamente a ordem para puxar o parafuso, reduzindo os tempos de espera e eliminando o tempo de envio de informação e processamento do software.

Com este novo sistema, no final do último parafuso, se este for aparafusado corretamente, o controlador ordena imediatamente o *reload* de um novo parafuso. No entanto, este processo é benéfico, uma vez que o primeiro parafuso do ciclo seguinte já está preparado, eliminando o seu tempo de espera.

4.3 Trabalho Padronizado

Com o objetivo de criar um fluxo contínuo e com baixo índice de variabilidade, procedeu-se à padronização do trabalho. Foram criadas instruções de trabalho (IT) para cada estação que descrevem cada passo necessário de forma simplificada e sempre acompanhado com uma imagem ilustrativa da sua execução, de forma a que qualquer operador que tenha de executar o trabalho numa determinada estação o consiga fazer de forma clara e consistente, através de uma breve consulta na IT, mesmo que nunca tenha estado naquela estação de trabalho.

As IT foram pensadas de forma a que o trabalho seja sempre executado na mesma sequência de operações, de forma a reduzir e estabilizar o tempo de ciclo de cada estação. No Anexo D pode ser consultado um exemplo de uma IT. As IT criadas também são designadas por instruções de 9 passos e têm um limite de carateres na descrição de cada passo, para que contenha apenas a informação estritamente necessária e para que o operador demore o menor tempo possível na sua consulta.

Na zona dos retrabalhos também se procedeu à normalização do trabalho para que fosse possível agilizar o tempo de ciclo de cada retrabalho e, consequentemente, melhorar o fluxo dos materiais. Para cada componente que necessita de retrabalho foi criada uma IT, com o mesmo formato da IT presente no Anexo D. As IT foram colocadas num quadro informativo, representado no Anexo E, e sempre que um operador tenha de efetuar um retrabalho dirige-se ao quadro, retira a respetiva IT e coloca na mesa onde irá efetuar o retrabalho para que, caso surja alguma dúvida, seja esclarecida o mais rapidamente possível. Com este procedimento evitam-se retrabalhos mal efetuados e reduz-se a quantidade de material sucatado.

4.4 Gestão Visual

Um dos maiores problemas detetados ao longo da linha foi a dificuldade das operadoras em saber quais os componentes a usar para cada versão produzida. As etiquetas existentes apenas continham a referência do componente, o que não as ajudava uma vez que, se as operadoras não estavam treinadas e não conheciam os componentes, era impossível saberem as referências associadas a cada componente. Além disso, há uma grande variedade de componentes, sendo impossível memorizar qual a versão em que cada componente é utilizado. Esta limitação tinha como principal consequência o elevado tempo de ciclo de cada estação de trabalho e variabilidade no fluxo de produção.

No sentido de resolver este problema foi criado e implementado um código de cores para que as operadoras saibam inequivocamente que componentes devem usar em cada versão apenas pela observação da cor da etiqueta, reduzindo o tempo improdutivo e, consequentemente, o tempo de ciclo. Foram usadas quatro cores, sendo de fácil memorização. Para a versão ativa esquerda foi usado o azul escuro e o azul claro foi atribuído à versão ativa direita. Para a versão passiva esquerda foi utilizado o laranja e para a versão Passiva Direita o amarelo. A Figura 41 ilustra o código de cores implementado.



Figura 41 - Código de cores implementado.

Após a implementação deste código, foi explicado a cada operadora qual a cor correspondente a cada versão. Para os componentes que são comuns a todas as versões, nomeadamente as molas e os parafusos, as etiquetas ficaram com fundo branco, representado a "neutralidade". Com esta codificação, o operador sabe que, quando a etiqueta tiver fundo branco, o componente corresponde é usado em todas as versões.

No entanto, na fase inicial é normal que surjam dúvidas pelo que, para além da cor, foram colocadas as iniciais de cada versão em cada etiqueta. Posteriormente, com o treino das operadoras deixa de ser necessário olharem para as iniciais e apenas necessitam de visualizar a cor da etiqueta. Na Figura 42 à esquerda pode ser observado um exemplo das etiquetas criadas e à direita encontra-se um bordo de linha depois da implementação do código de cores.



Figura 42 - Etiquetas e Bordo de Linha com o código de cores implementado.

Na zona dos retrabalhos começou a utilizar-se etiquetas coloridas para os diferentes estados dos componentes, apresentadas na Figura 43, para que os operadores saibam inequivocamente e o mais rapidamente possível o estado em que estão os componentes. Para os componentes acabados de chegar à zona de *Rework* são colocadas etiquetas amarelas, significando que têm de ser retrabalhados e/ou inspecionados antes de abastecerem a linha. Para os componentes que não estão em conformidade são usadas etiquetas vermelhas e os componentes prontos para abastecer a linha têm etiquetas verdes.



Figura 43 - Gestão visual implementada na área dos retrabalhos.

Na linha de montagem também passou a ser usado um quadro informativo, apresentado no Anexo E, que contém todas as informações necessárias para os operadores, nomeadamente as referências finais de peças acompanhadas de figuras para um entendimento mais rápido quando alguma dúvida surgir, o código de cores implementado, o fluxograma do processo, o layout da linha e os planos de produção, entre outras informações julgadas importantes.

Foram também criados alertas visuais, tanto na linha de montagem como na zona dos retrabalhos, de forma a que erros críticos não ocorram. Os alertas são colocados junto do posto de trabalho onde ocorrem os erros com uma imagem do erro e com a imagem da montagem ou do procedimento correto, de forma a sensibilizar os operadores para a ocorrência desses mesmos erros. Um exemplo dos alertas visuais usados pode ser consultado no Anexo F.

4.5 Bordos de Linha

No início deste trabalho, um dos grandes problemas da linha era a inexistência de ergonomia nas estações de trabalho, originando desperdícios e tempos de ciclos elevados. Os componentes não tinham um local fixo e estavam distantes do operador, sendo frequente a necessidade de se deslocar até ao BL correspondente.

A solução implementada foi recorrer ao uso de caixas avançadas. Estas caixas são acopladas à própria máquina, ficando muito próximas do operador. O objetivo desta implementação é reduzir os movimentos do operador e ter sempre um lugar para o mesmo componente. A Figura 44 à esquerda demonstra a implementação das caixas avançadas na estação de trabalho OP40/50 e à direita é apresentada a implementação na OP280.

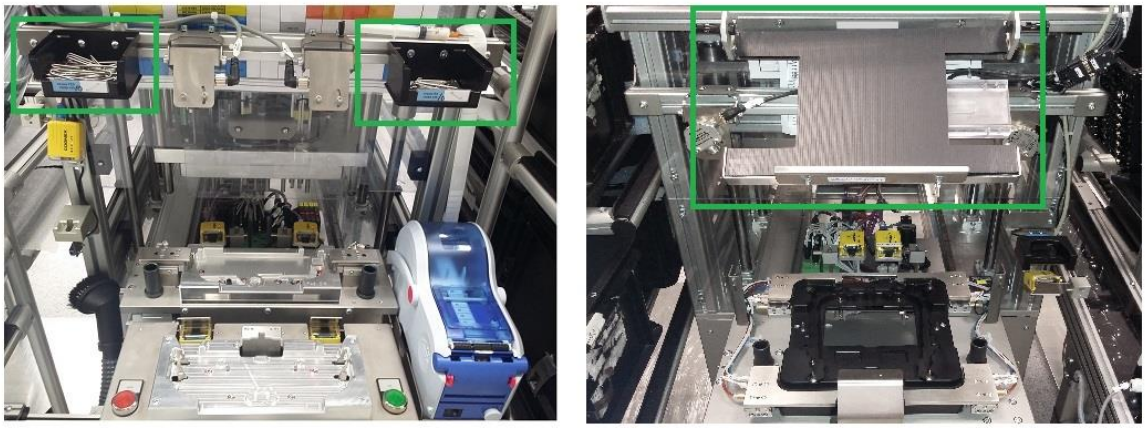


Figura 44 - Implementação de caixas avançadas nos postos de trabalho.

Com a utilização de caixas avançadas, os BL ficam mais disponíveis para os componentes específicos de cada versão, aproximando-os do operador.

4.6 Organização do Layout dos Retrabalhos

Para tornar mais eficiente a zona dos retrabalhos, alterou-se o seu *layout*. Cada tipo de retrabalho passou a ser feito numa mesa diferente e passou a existir uma zona de entrada – *Rework In* - e uma zona de saída para os componentes – *Rework Out* -, para que haja uma clara separação entre componentes retrabalhados e por retrabalhar, como pode ser observado no Anexo G.

Para iniciar o retrabalho, o operador tem de ir à zona de *Rework In*, e retirar os componentes necessários da palete "Materiais a Retrabalhar", etiquetados com a cor amarela. De seguida, coloca a caixa no bordo de linha da mesa respetiva e inicia o retrabalho, colocando os

componentes retrabalhados no bordo de linha à sua esquerda. Se o retrabalho não for corretamente efetuado e a peça não for recuperável ou se o componente chegou em mau estado, a operadora deve colocar o componente na caixa de material não conforme e no final do retrabalho colocar esses componentes na palete do "Material NOK" existente na zona de *Rework In*.

Quando o retrabalho está concluído, o operador da mesa de Inspeção desloca-se até ao bordo de linha de um retrabalho e coloca a caixa pronta a ser verificada no seu bordo de linha para efetuar a verificação do retrabalho. Se o retrabalho estiver bem executado, é colocada uma marca identificativa no componente na zona do retrabalho para garantir que foi verificado. Caso não esteja conforme é colocado na caixa não conforme. Após a verificação, os componentes bons são colocados na zona de *Rework Out* na palete respetiva, estando prontos a serem utilizados.

À semelhança das outras operações, os componentes que ficarem na caixa de material não conforme são colocados na palete "Material NOK" na zona de *Rework In* para ser posteriormente destruído. No caso do mesmo componente vir todo com o mesmo defeito, a caixa é colocada na palete "Material a reclamar". Estas alterações permitiram arrumar o local de trabalho e garantir que tudo está no seu devido lugar, economizando tempo, reduzindo erros e melhorando o fluxo dos materiais na zona Retrabalhos.

4.7 Sistema *Kanban*

Após a organização do Layout dos retrabalhos, a zona de *Rework Out* passou a funcionar como um supermercado para abastecer a linha de montagem. Cada caixa tem uma etiqueta verde com a designação, a referência e a respetiva quantidade do componente, de forma a saber que o material está em condições de abastecer a linha.

Sempre que for retirada uma caixa da zona de *Rework Out* com o objetivo de abastecer a linha de montagem, a respetiva etiqueta é recolhida e colocada no quadro informativo pela mesma ordem de retirada das caixas. Com este procedimento, os operadores dos retrabalhos quando iniciarem o seu turno vão retirando cada etiqueta do quadro pela ordem de colocação, e vão retrabalhando o respetivo componente na quantidade indicada. Este sistema garante que o primeiro componente a ser retirado da zona de *Rework Out* é o primeiro a ser reabastecido no início do turno seguinte.

4.8 Análise das Ações Desenvolvidas

Após a implementação das ações descritas nos subcapítulos anteriores, os parâmetros apresentados no estado inicial foram recalculados de forma a analisar e quantificar os ganhos obtidos em termos de produtividade.

4.8.1 Tempos de Ciclo

Os tempos de ciclo de cada estação da linha de montagem, referentes à situação final do projeto, foram medidos após a desenvolvimento das ações referidas e são apresentados na Figura 45.

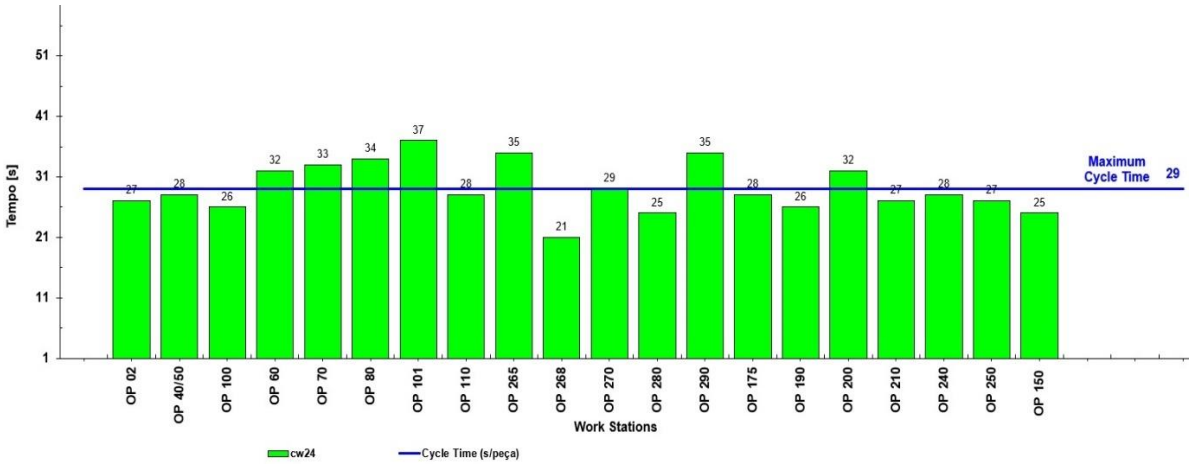


Figura 45 - Tempos de ciclo na situação final.

Após a consulta dos tempos de ciclo é notória a sua redução em todas as estações, verificando-se um maior equilíbrio entre estas. No entanto, ainda existem estações acima do tempo de ciclo, sendo que o BN é a OP101 com 37 segundos.

Com este BN, e tendo novamente em conta o tempo de trabalho disponível presente na Tabela 1 e seguindo o mesmo raciocínio da Equação 3.4, calculou-se o índice de capacidade produtiva final, como é demonstrado na Equação 4.1.

$$ICP = \frac{CPA}{NP} = \frac{\left(\frac{450 \times 60 \times 3 \times 250}{37}\right) \times 90\,\%}{587500} = \frac{492568}{587500} = 83{,}8\,\% \qquad (4.1)$$

Verificou-se que a capacidade de produção da linha de montagem melhorou substancialmente, passando de 17% da quantidade requerida pelo cliente para 79%. As melhorias alcançadas traduzem-se num aumento da capacidade de produção anual de 385.989 peças.

4.8.2 Desempenho Final

Apesar de se ter verificado uma melhoria em termos de WIP, no estado final do projeto foram contabilizadas 107 peças em curso de fabrico. Tal facto deve-se ao *layout* desajustado que obriga à necessidade de criação de lotes entre estações.

A taxa de produção também melhorou, passando de 7,6 peças/hora no início do projeto para 65 peças/hora no final do projeto, representando uma taxa de utilização do BN de 66,81%.

Seguindo o mesmo raciocínio da secção 3.2.4, traçaram-se os gráficos do desempenho da taxa de produção e do tempo de processamento relativos à situação final do projeto, representados na Figura 46.

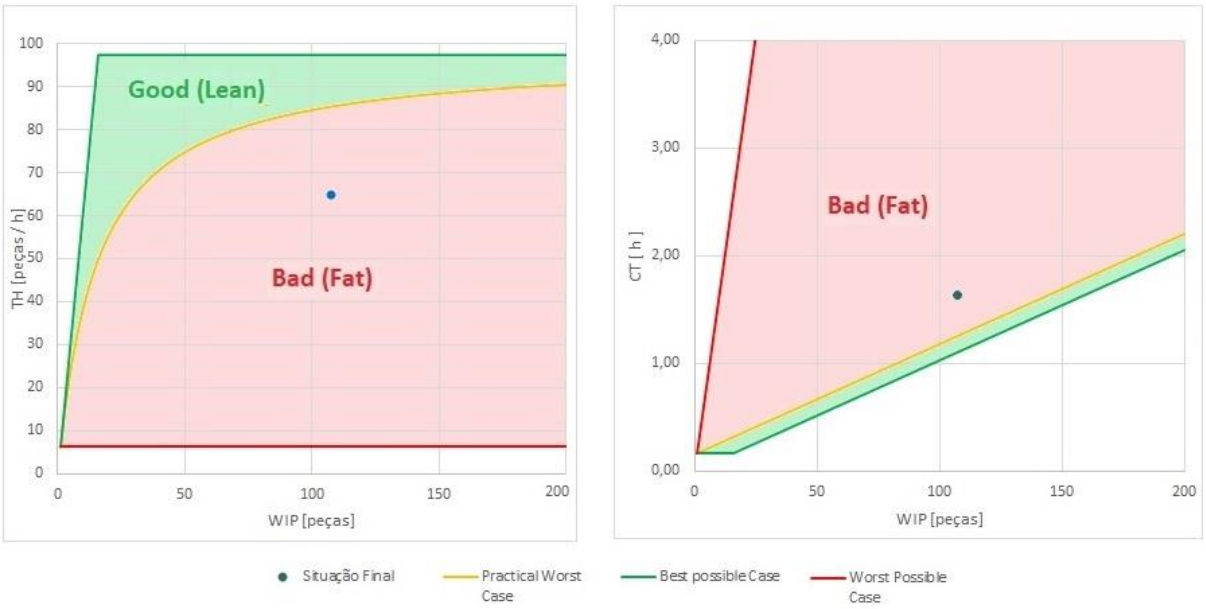


Figura 46 – Desempenho final da taxa de produção e do tempo de processamento na linha de montagem.

Como se pode verificar, a linha de montagem na situação final encontra-se muito mais próxima da zona *Lean*, quer em termos de taxa de produção quer em termos de processamento. Para o WIP final verificado, para a taxa de produção ser *Lean* a linha teria de produzir cerca de 85 peças/hora, em vez das 65 peças/hora. Relativamente ao tempo de processamento, para que este se situasse na zona *Lean* teria de demorar apenas 1,25h, em vez de 1,65h. No entanto, verifica-se uma clara melhoria do fluxo de materiais ao longo da linha de montagem, uma vez que o tempo de processamento de uma peça passou de 24,74h para 1,65h.

4.8.3 Eficiência Final

Recorrendo aos tempos de ciclo da situação final, presentes no Anexo H, e seguindo o mesmo raciocínio da Equação 3.9, foi calculada a eficiência final da linha de montagem através da Equação 4.2.

$$\varepsilon = \frac{\sum Ti}{N \times TC} = \frac{583}{20 \times 37} = \frac{583}{740} = 78{,}8\% \tag{4.2}$$

O tempo de valor acrescentado (∑Ti) no final do projeto é de 583s e o tempo gasto com cada peça é 740s, significando que há uma perda de tempo total de 157s, indicando uma clara melhoria no equilíbrio das estações, originando uma eficiência final de 78,8%, em vez da 35,5% da situação inicial.

4.8.4 Índice de Rejeição e Retrabalhos

Devido à fase avançada em que a linha se encontrava no final deste projeto, os retrabalhos começaram a diminuir e os componentes a tomar as suas versões definitivas devido às otimizações de desenvolvimento. Existia um total de 22 retrabalhos necessários, distribuídos por 3 tipos diferentes. A lubrificação deixou de ser necessária, pois a estação de lubrificação na linha de montagem já se encontra operacional e dentro do tempo de ciclo. Já o tipo de retrabalho "outros" também foi eliminado pela otimização dos componentes, passando a ser feito na própria linha de montagem. Na Tabela 6 é possível observar a quantidade de retrabalhos associada a cada tipo de retrabalho na situação final.

Tabela 6 - Tipos de retrabalhos e quantidades associadas no final do projeto.

Tipo retrabalho	Número de retrabalhos
Corte	12
Escolhas	6
Colagem	4
Total	**22**

Relativamente ao índice de rejeição, na situação final era de, aproximadamente, 25%, sendo que a visão é a principal causa, seguindo-se a acústica e o software. Seguindo o mesmo raciocínio da Equação 3.10, é possível concluir que a capacidade de resposta se situa em 62,3%.

4.9 Propostas de Ações de Melhoria

Nesta secção sugerem-se ações que visam reduzir os tempos de ciclo de algumas estações de trabalho que, por limitações de tempo, não foi possível implementar no *Gemba*.

4.9.1 Inserção de Barreiras de Proteção

Após a análise de todas as estações de trabalho verificou-se que algumas tinham um movimento desnecessário em comum - o movimento de descida e subida da porta quando a peça avança para o interior da máquina. Esta porta tem como única função servir de proteção e garantir a segurança do operador durante o processo de calcagem e medição da peça.

A proposta apresentada consistiu em substituir as portas por barreiras de proteção. Esta ação em nada prejudica a segurança do operador uma vez que, quando a peça está a ser calcada, se o operador tentar aceder à peça as barreiras luminosas são interrompidas e o ciclo da máquina é imediatamente parado. Com esta ação, o movimento de descida da porta quando a peça se desloca para o interior da máquina é eliminado, assim como o respetivo movimento de subida quando o processo de calcagem e medição é concluído. Estes movimentos são responsáveis por consumir aproximadamente 4s em cada estação, sendo essencial eliminá-los, uma vez que não acrescentam valor ao produto. No Anexo H encontra-se a representação de uma estação com porta fechada durante o processo de calcagem e a solução das barreiras luminosas proposta.

Esta medida pode ser aplicada às estações OP40/50, OP60, OP70, OP80, OP200, OP280 e OP290, permitindo a redução dos tempos de ciclo das respetivas estações. No entanto, nem todas as estações necessitam desta ação. Foi sugerida a inserção de barreiras luminosas nas estações OP60, OP70, OP80, OP290 e OP200, permitindo reduzir 4s nos respetivos tempos de ciclo.

4.9.2 Estação OP101

Relativamente à estação OP101, apesar da mudança da estação manual para uma estação automática, o tempo de ciclo é de 37s, sendo necessário reduzi-lo. O objetivo é reduzir o tempo no abastecimento das esferas.

O sistema atual consegue levar 3 esferas em simultâneo até à peça. No entanto, o sistema de alimentação só consegue abastecer uma esfera de cada vez, e é durante este abastecimento que se gasta demasiado tempo. O processo atual consiste num movimento de avanço e recuo para abastecer uma esfera que demora 2s, enquanto a garra faz o movimento de rotação que demora 1s, o que significa que as garras do robot ficam paradas 1s por esfera.

No Anexo I está representado o mecanismo de abastecimento das esferas. A proposta apresentada consiste num prato rotativo que é alimentado por uma esfera sempre que haja alguma cavidade livre, num total de 12 cavidades. Desta forma, enquanto as garras do robot fazem o movimento de rotação, o prato também efetua a rotação, eliminando o tempo de espera de 1s por esfera. Esta alteração permite reduzir 9s por peça, o que significa que é possível baixar o tempo de ciclo até 28s, estando dentro do limite para a máquina. A proposta de melhoria também está apresentada no Anexo I.

4.9.3 Estação OP80

Nesta estação, devido à reduzida folga numa das cavidades, é necessário pressionar manualmente um condutor de luz quando é colocado no *Guiding Frame*. Atualmente, esse processo faz-se com o auxílio da ferramenta apresentada no Anexo J. No entanto, esta etapa consome cerca de 6s, que inclui pegar e deixar a ferramenta no seu local.

A proposta de melhoria passa por colocar um equipamento auxiliar acoplado à máquina, denominado "*tool balancer*", também apresentado no Anexo J, onde a ferramenta auxiliar passa a ficar suspensa, de forma a que sempre que seja necessário recorrer ao seu uso basta puxar a ferramenta, calcar o condutor de luz e largar a ferramenta, e esta volta à sua posição inicial por compressão da mola no seu interior. Esta implementação permite reduzir cerca de 3s ao tempo de ciclo da estação. Esta solução não requer consumo de eletricidade ou ar comprimido, garante operações com precisão e é uma solução relativamente barata.

4.9.4 Estação OP290

Esta estação, na situação final, apresenta 35s de tempo de ciclo. Mesmo com a sugestão da substituição da porta por barreiras luminosas, ainda se encontra acima do valor esperado de 31s. Analisando as operações existentes, verifica-se que é possível remover uma operação sem valor acrescentado.

Durante o planeamento do equipamento, foi projetado um movimento de inclinação da mesa para facilitar a montagem de um cabo. No entanto, em termos práticos esse movimento não é útil, uma vez que na OP110 é feita a montagem de 3 cabos com a peça na horizontal, i.e., sem inclinação, e a montagem é feita corretamente e sem problemas. Além disso, a inclinação não é ajustável em função do operador que se encontrar naquela estação, tornando-se pouco ergonómico.

No Anexo K está representada a situação atual de montagem do cabo e a solução proposta. Este movimento é responsável por consumir 4s do tempo ciclo. Removendo este movimento, é possível atingir 27s, passando a cumprir o tempo exigido.

4.9.5 Estação OP265

Com as propostas de melhoria sugeridas, esta é única estação que se encontra fora do tempo de ciclo. Analisando as etapas que a constituem, é possível verificar que há um excesso de operações para o tempo estipulado. No entanto, existem duas possibilidades para eliminar o tempo desta estação: criar outra estação igual para funcionar em paralelo; ou distribuir as etapas por outras estações.

A primeira opção é bastante dispendiosa, além do tempo de ciclo de cada máquina passar para 17,5s, o que faz com que os operadores fiquem 11,5s em espera por peça. A segunda opção é a mais viável, uma vez o operador da OP268 ainda tem 8s em espera por peça. Na OP265 faz-se a montagem do *carrier* com o subgrupo BM, que depois é colocado na estação sobre o subgrupo GJX. Só a operação de pegar no *carrrier* e no BM e efetuar a pré-montagem demora

cerca de 6s. Estas etapas podem ser então executadas pela operadora da OP268 no tempo livre existente por peça.

Com esta distribuição a OP265 fica com 29s e a OP268 com 27s, estando ambas dentro do tempo de ciclo exigido. Os tempos de ciclo expectáveis após a implementação das sugestões de melhoria estão apresentados no Anexo L.

4.9.6 Mudança de *Layout* da Linha de Montagem

Devido ao layout atual desajustado, existe a necessidade de produzir lotes de alguns subgrupos para que o transporte seja mais eficiente e os tempos de espera são elevados. No entanto, uma alteração do layout atual permitiria reduzir o WIP e eliminaria a necessidade de criação de lotes, criando um fluxo unitário no processo.

No Anexo M é apresentada a sugestão de mudança de layout. A primeira etapa passa por rearranjar todas as estações desde a OP40/50 até à estação de teste EOL, alterando a forma linear da linha para a forma em U, contra o sentido dos ponteiros do relógio. Esta configuração torna a linha mais flexível, há uma maior possibilidade de entreajuda e aproxima o início do fim da linha, que se torna bastante vantajoso quando, por exemplo, uma peça está a sair defeituosa e é necessário parar a sua produção.

De seguida, foi proposta a eliminação da ilha isolada de operadores, constituída pelas estações OP02, OP190, OP175, OP200 e OP210, que não tinham qualquer ligação à restante linha, tendo de ser transportadas em caixas até aos bordos de linha das estações seguintes respetivas. Ao remover esta ilha, será possível eliminar a caixa que contém 15 peças em curso de fabrico para abastecer a OP265, sendo substituída por um tapete com capacidade de apenas 5 peças em curso de fabrico. O mesmo acontece entre as estações OP02 e OP40/50.

Também foi proposta a aproximação entre as estações OP190 e OP175, permitindo passar de 10 peças entre estações para 2 peças, entre a OP250 e OP280, que permite reduzir para um terço a dimensão do transportador, e entre a OP150 e OP100, passando a capacidade do lote de 20 peças para 5 peças.

Entre as restantes estações, propõe-se a remoção dos tapetes existentes, eliminando as peças em curso de fabrico entre as estações. Para os tapetes previstos no *layout* futuro, propôs-se a implementação de um limite máximo de 2 peças nos transportadores. Desta forma, sempre que existirem 2 peças no transportador, o operador não produz mais nenhuma peça até que alguma peça seja utilizada na estação seguinte, seguindo a filosofia CONWIP. Desta forma, é possível baixar o WIP até 28 peças e recalculando o desempenho da linha com estas propostas, mantendo a mesma taxa de utilização do BN (66,81%), verifica-se que a linha consegue atingir a região *Lean*, quer pela taxa de produção quer pelo tempo de processamento, como pode ser observado no Anexo N. A eficiência expectável após a implementação das melhorias é de 94,3%.

Com o *layout* proposto é possível uma redução de cerca de 6% na área total ocupada pela linha.

4.9.7 Retrabalhos

Relativamente aos retrabalhos, ainda é possível efetuar algumas melhorias. Uma vez que se criaram IT para cada retrabalho e se procedeu à formação dos operadores com o objetivo de normalizar os retrabalhos, o posto de inspeção torna-se desnecessário. Além disso, é o BN desta área, uma vez que este é constituído apenas por um operador que é responsável por verificar todos os retrabalhos que estão a ser executados pelos restantes cinco operadores. Assim, uma vez que estes operadores foram formados, podem passar a ser responsáveis pelos seus próprios retrabalhos e pela sua verificação. De seguida, cada operador deve ser responsável por colocar os componentes retrabalhados na zona de *Rework Out* e devidamente etiquetados. Com esta medida, é possível reduzir a área dos retrabalhos em cerca de 33%, apresentada no Anexo O.

5 Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

O presente projeto consistia na análise à situação atual de uma linha de produção e a implementação de um conjunto de ações e melhorias que originassem uma melhoria no fluxo de produção. Agilizar o fluxo dos materiais ao longo da cadeia de valor de um projeto caraterizado pelo seu elevado número de referências finais e de componentes representou um verdadeiro desafio para a eliminação de desperdício.

Na primeira etapa, foi feita a análise da cadeia de valor e elaborado o respetivo mapa do fluxo de valor, com base na aplicação da ferramenta VSM, para enquadrar as principais etapas necessárias à produção. Este enquadramento serviu de base ao aprofundamento de algumas etapas, nomeadamente os retrabalhos e a linha de montagem, e para análise dos fluxos de informação e material. Esta análise permitiu identificar vários tempos improdutivos, operações sem valor e elevados níveis de *stock* em determinadas zonas da cadeia.

Com o auxílio das ferramentas *Lean* foi possível eliminar várias fontes de desperdício e reduzir a variabilidade na execução das operações na linha de montagem, tornando o processo de montagem mais estável. Estas melhorias tiveram sempre presente o método PDCA, iniciando-se com o planeamento, de seguida a implementação, depois a análise aos resultados obtidos e por fim agindo em conformidade com essas análises, definindo novos planos de ação se necessário, sempre numa filosofia de melhoria contínua. Com a aplicação destes métodos e filosofias foi possível reduzir os tempos improdutivos, padronizar o trabalho e equilibrar as várias estações de trabalho, originando uma melhoria na eficiência global da linha de montagem. Foi também possível reduzir o tempo total de processamento ao longo da linha de montagem de 24,74h para 1,65h e o tempo de ciclo da linha de 171s para 37s.

Relativamente à zona dos retrabalhos, o *layout* foi totalmente alterado, permitindo melhorar o fluxo dos materiais e organizar o espaço existente. Também se procedeu à padronização do trabalho, permitindo reduzir a variabilidade no tempo de execução dos retrabalhos e a quantidade de material sucatado.

Concluindo, foi possível melhorar o fluxo de produção, reduzir o desperdício e obter ganhos de produtividade. No entanto, no final deste projeto a linha não se encontrava preparada para iniciar a sua produção em série, uma vez que ainda não atingiu o tempo de ciclo expectável na linha de montagem. Porém, com a implementação das ações propostas, é expectável que a linha de montagem cumpra o tempo de ciclo exigido, com elevada eficiência e desempenho.

Para o futuro, sugere-se que a empresa prossiga com a filosofia de melhoria contínua, uma vez que há sempre margem para melhorar os processos, permitindo solucionar os problemas que vão surgindo no decorrer da evolução do projeto. Apesar das melhorias executadas, existe margem para melhorar o fluxo de informação ao longo do processo produtivo.

Sugere-se também a criação de um supermercado de produto acabado, de forma a ter uma resposta mais rápida face à procura do cliente, para que seja possível aproximar mais a produção à filosofia *Pull*.

Com a finalidade de garantir a sustentabilidade e consistência dos resultados obtidos, recomenda-se a realização regular de auditorias 5S, registando-se de seguida os resultados obtidos para posterior análise e avaliação.

Referências

Alves, A. C., J. Dinis-Carvalho e R. M. Sousa. 2012. "Lean production as promoter of thinkers to achieve companies' agility". *Learning Organization: An International Journal* no. 19 (3):219-37. Acedido a 17 de março de 2018. http://dx.doi.org/10.1108/09696471211219930.

Angelis, J. e B. Fernandes. 2012. "Innovative Lean: work practices and product and process improvements". *International Journal of Lean Six Sigma* no. 3 (1):74-84. http://dx.doi.org/10.1108/20401461211223740.

Antoniolli, I., P. Guariente, T. Pereira, L. Pinto Ferreira e F. J. G. Silva. 2017. "Standardization and optimization of an automotive components production line". *Procedia Manufacturing* no. 13:1120-7. Acedido a 15 de março de 2018. http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.173.

Chauhan, G. e T. P. Singh. 2012. "Measuring parameters of Lean manufacturing realization". *Measuring Business Excellence* no. 16 (3):57-71. Acedido a 25 de fevereiro de 2018. http://dx.doi.org/10.1108/13683041211257411.

Coimbra, Euclides A. 2013. *Kaizen in Logistics and Supply Chain Management*. McGraw-Hill Education.

Dombrowski, U., S. Hennersdorf e S. Schmidt. 2006. "Lean production systems". *ZWF Zeitschrift fur Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* no. 101 (4):172-7.

Elrhanimi, S., L. El Abbadi e A. Bouabdellah. 2016. "What is the relationship between the tools of Lean manufacturing and the global performance of the company?". Comunicação apresentada em 2016 3rd International Conference on Logistics Operations Management (GOL), 23-25 May 2016, em Piscataway, NJ, USA.

Kara, Yakup e Yakup Atasagun. 2013. "Assembly Line Balancing with Resource Dependent Task Times: An Application to Parallel Assembly Lines". *IFAC Proceedings Volumes* no. 46 (9):845-850. Acedido a 20 de março de 2018. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016343932.

Oliveira, J., J. C. Sa e A. Fernandes. 2017. "Continuous improvement through "Lean Tools": an application in a mechanical company". *Procedia Manufacturing* no. 13:1082-9. Acedido a 20 de março de 2018. http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.139.

Rosa, C., F. J. G. Silva e L. Pinto Ferreira. 2017. "Improving the Quality and Productivity of Steel Wire-rope Assembly Lines for the Automotive Industry". *Procedia*

Manufacturing no. 11:1035-42. Acedido a 11 de março de 2018. http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.214.

Roy, Andersson, Eriksson Henrik e Torstensson Håkan. 2006. "Similarities and differences between TQM, six sigma and Lean". *The TQM Magazine* no. 18 (3):282-296. Acedido a 18 de março de 2018. https://doi.org/10.1108/09544780610660004.

Schmidt, M. T., F. Elezi, I. D. Tommelein e U. Lindemann. 2014. "Towards recursive plan-do-check-act cycles for continuous improvement". Comunicação apresentada em 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 9-12 Dec. 2014, em Piscataway, NJ, USA.

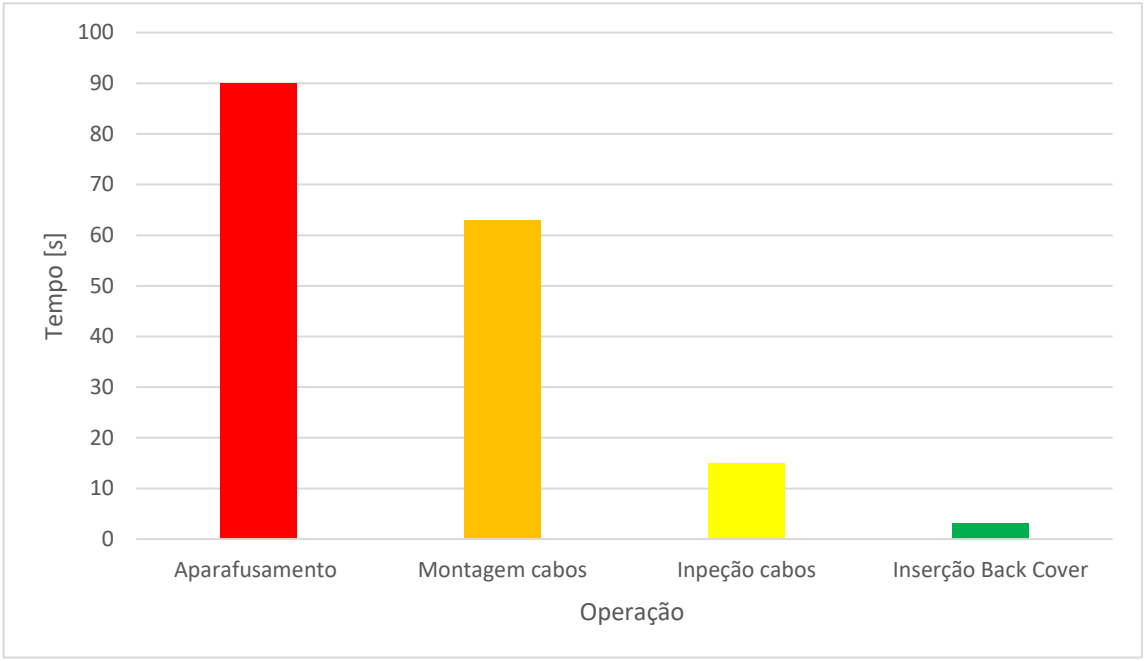
Seth, D., N. Seth e P. Dhariwal. 2017. "Application of value stream mapping (VSM) for Lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study". *Production Planning & Control. The Management of Operations* no. 28 (5):398-419. Acedido a 16 de março de 2018. http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2017.1300352.

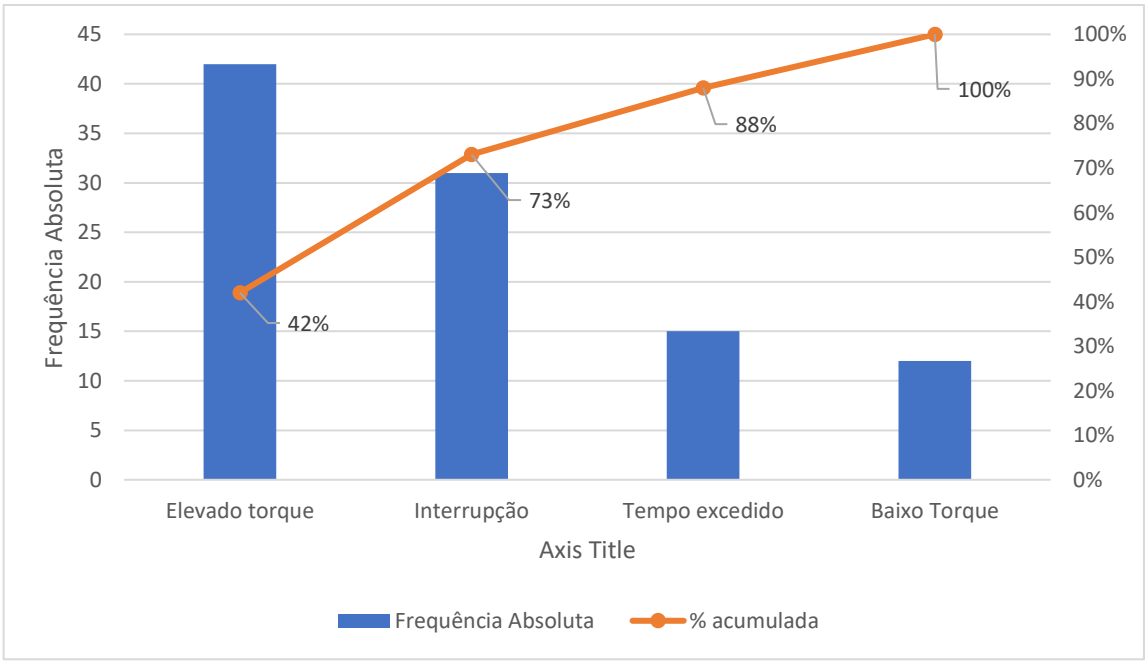
Shoji, Y. e Y. Kukobo. 2016. "PDCA cycle model of drawing process for class placement of liberal arts: the trial work of the IR section at the University of Hyogo". Comunicação apresentada em 2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI), 10-14 July 2016, em Los Alamitos, CA, USA.

Torghabehi, Y. E., A. A. Maki, K. Kurczewski e A. Abdekhodaee. 2016. "Visual management, performance management and continuous improvement: A Lean manufacturing approach". *International Journal of Lean Six Sigma* no. 7 (2):187-210. http://dx.doi.org/10.1108/IJLSS-09-2014-0028.

Vinod, M., S. R. Devadasan, D. T. Sunil e V. M. M. Thilak. 2015. "Six Sigma through Poka-Yoke: a navigation through literature arena". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* no. 81 (1-4):315-27. http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-7217-9.

ANEXO A: Estação OP270 -Tempos das Operações e Análise Modos de Falha





ANEXO B: Exemplo de Lista de Confirmação Implementada

LISTA DE CONFIRMAÇÃO

LINHA DE MONTAGEM / MÁQUINA:	Linha XBN
REFERENCIAS:	Ver tabela
OPERAÇÃO:	265
DESCRIÇÃO:	Abastecimento parafusos
CICLO DE REGISTO:	Início de cada turno
REFERENTE À IT:	Do posto OP265
OBS:	

				PONTOS DE VERIFICAÇÃO			
Data	**N. C.**	**Turno**	**Referência**	Verificação da quantidade de parafusos disponíveis na máquina alimentadora			**Ações (equipamento)**

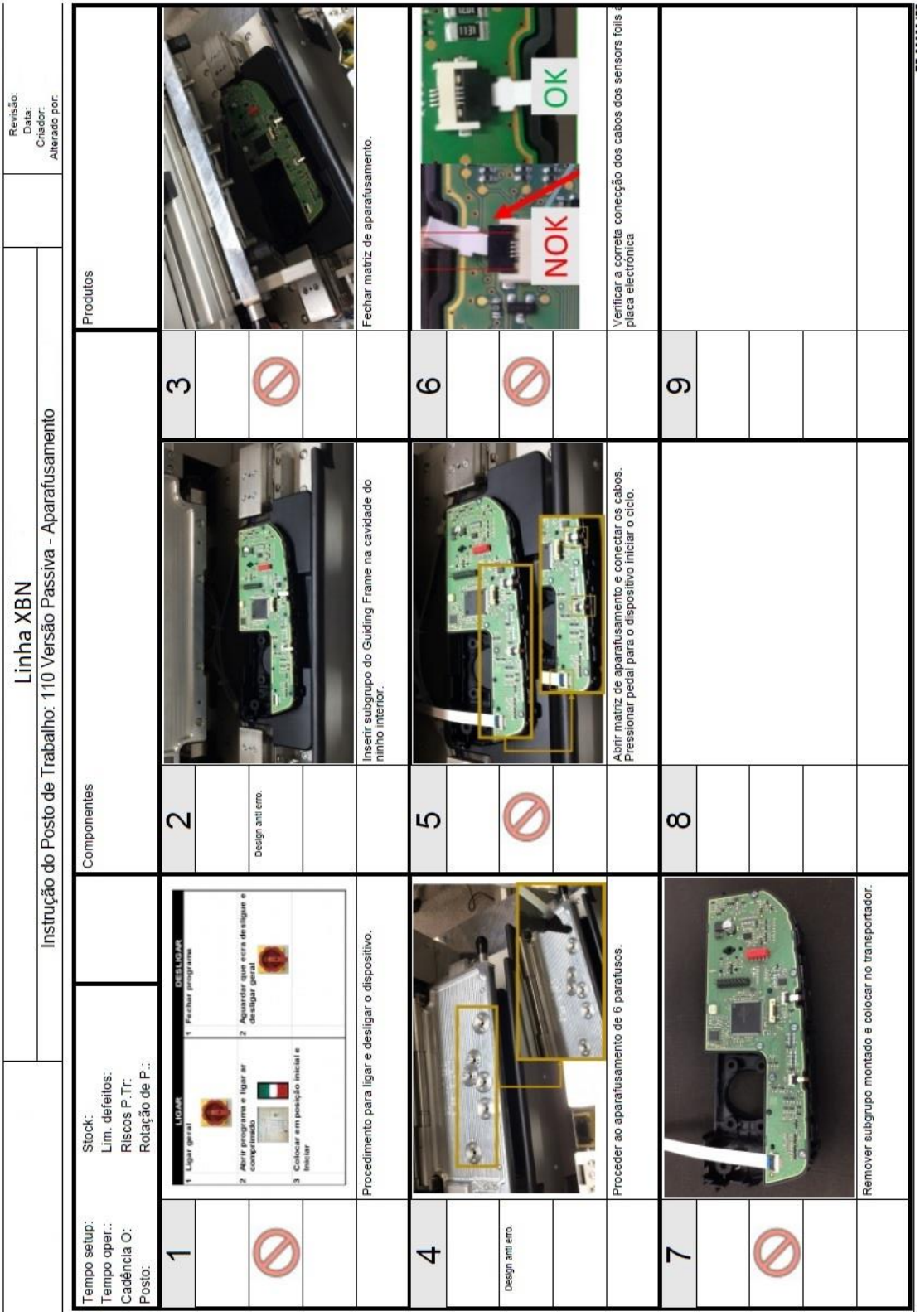
Preenchimento: Se ponto OK colocar "B", se ponto NOK colocar "M"

VALIDAÇÃO DO DOCUMENTO	
ENGENHARIA DE PROCESSO	QUALIDADE
____________ Assinatura ____/____/____	____________ Assinatura ____/____/____

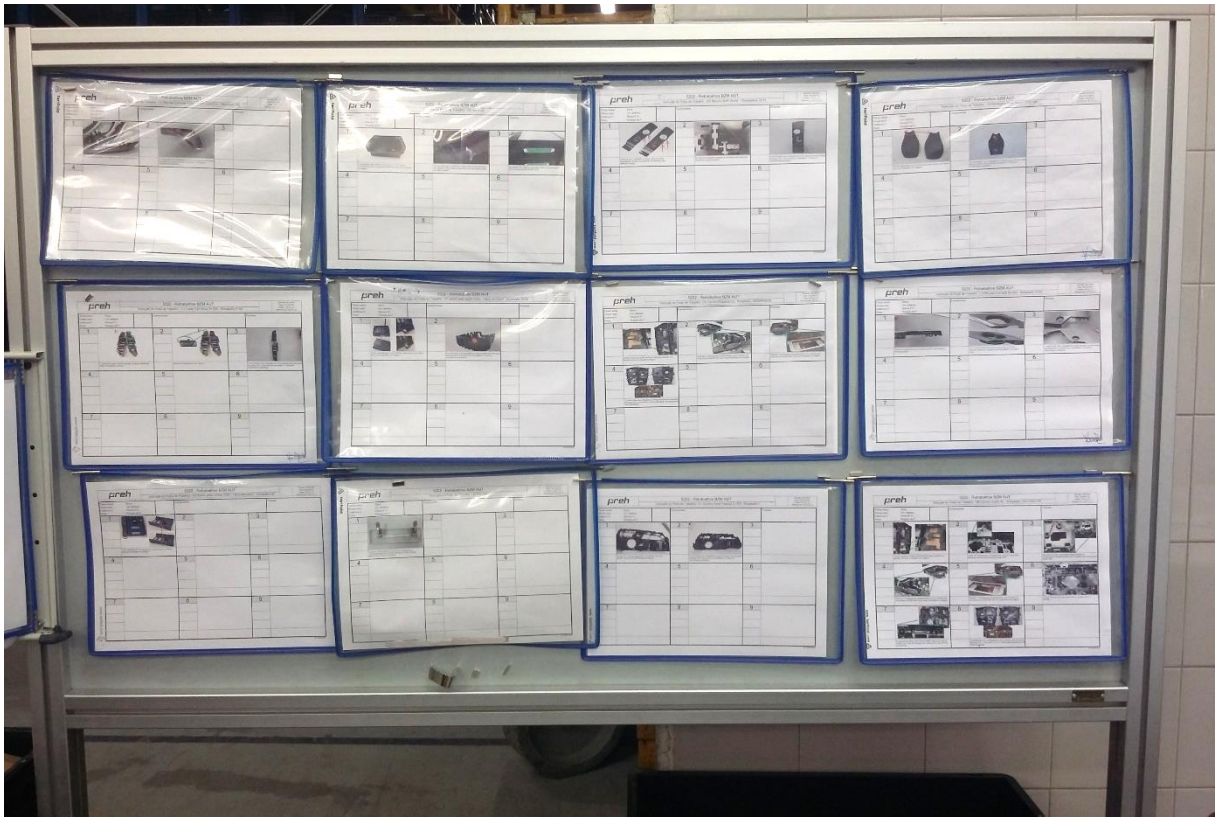
ANEXO C: Controlador Usado para Comandar a Aparafusadora



ANEXO D: Exemplo de IT Criada na Linha de Montagem

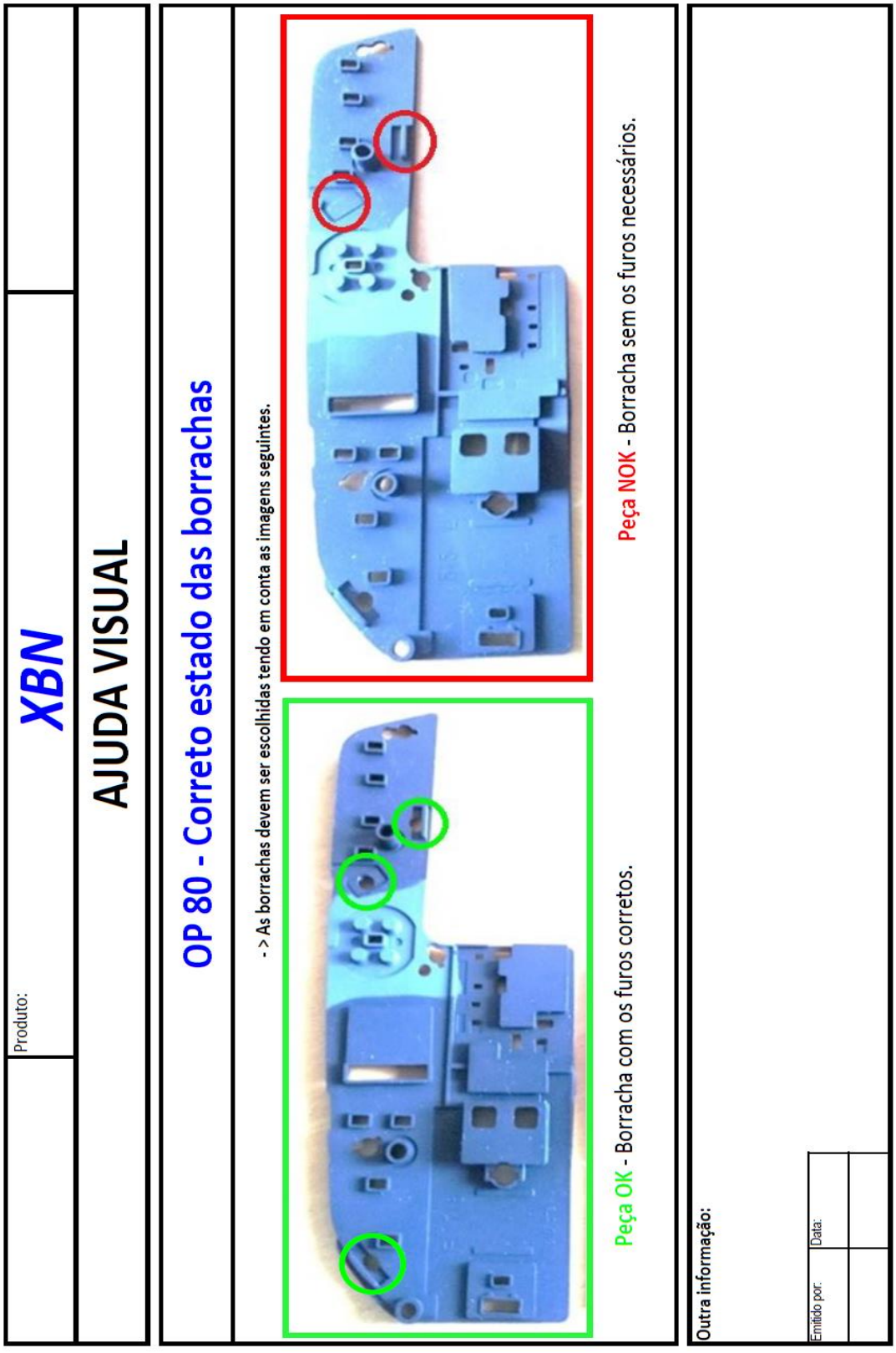


ANEXO E: Quadros Informativos Implementados nos Retrabalhos e na Linha

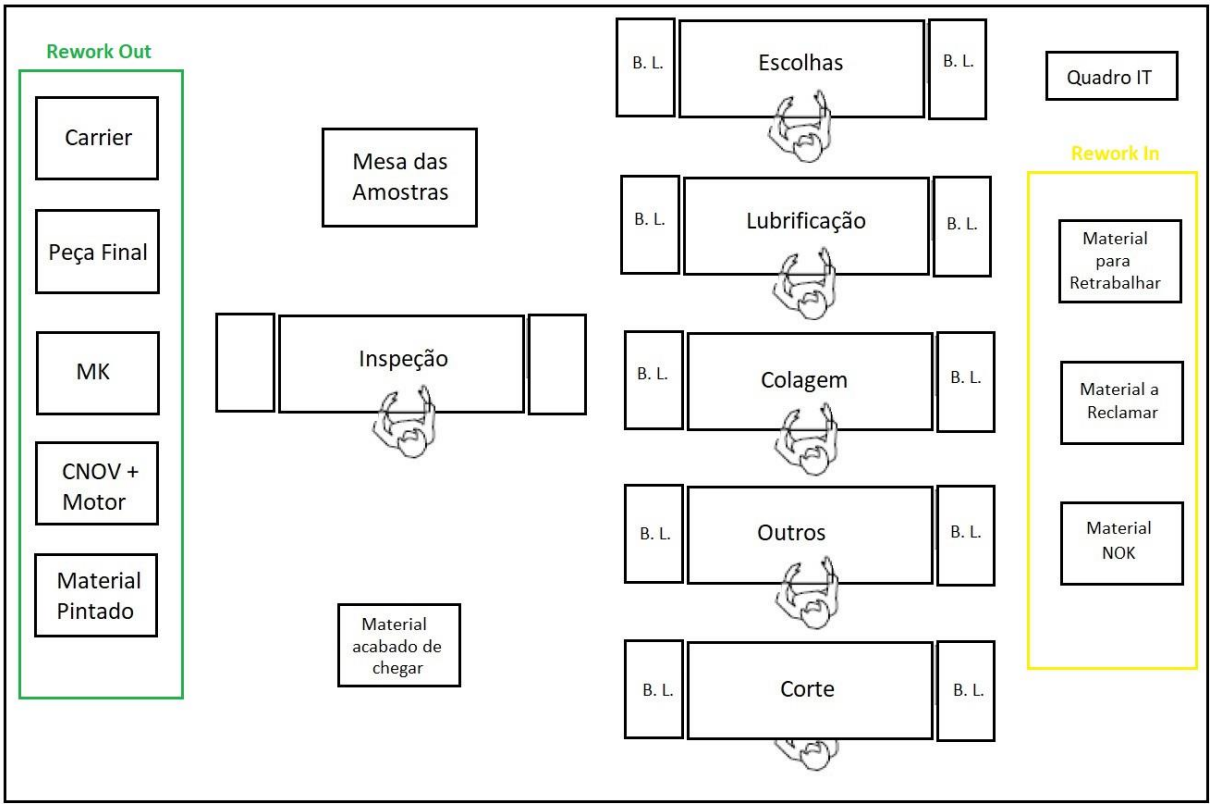




ANEXO F: Exemplo de Alerta Visual Criado

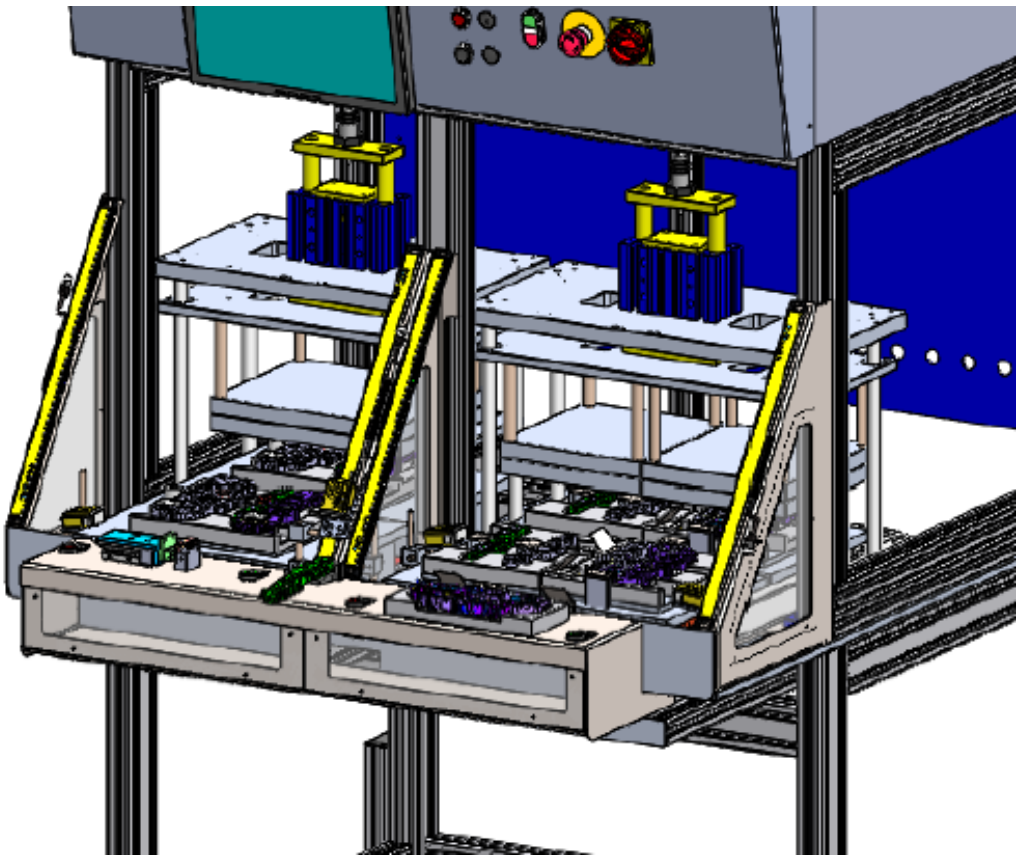


ANEXO G: Alteração de Layout na Zona dos Retrabalhos

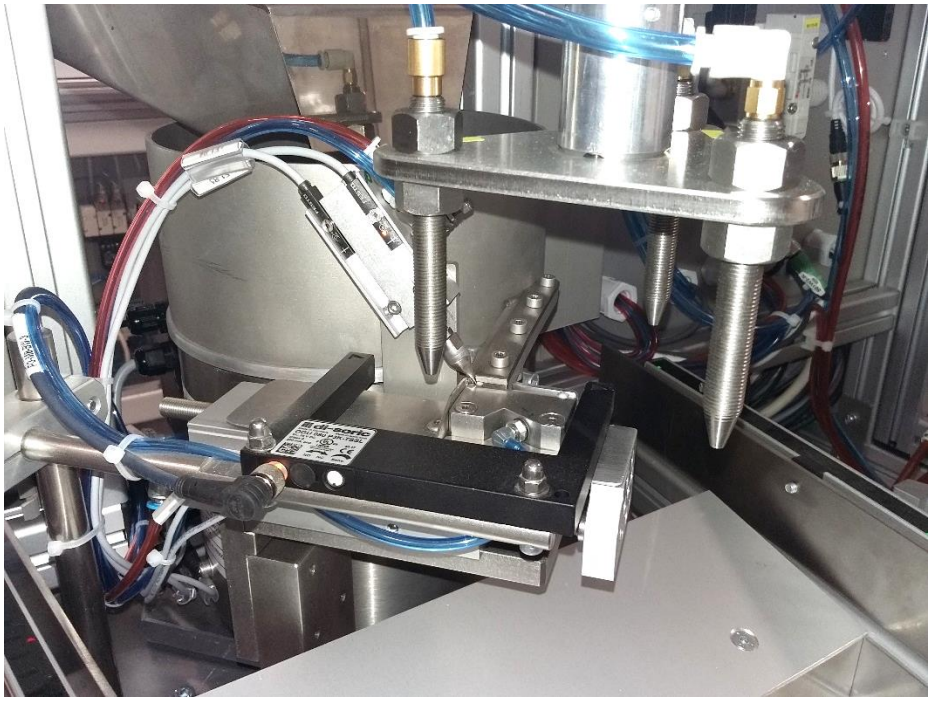


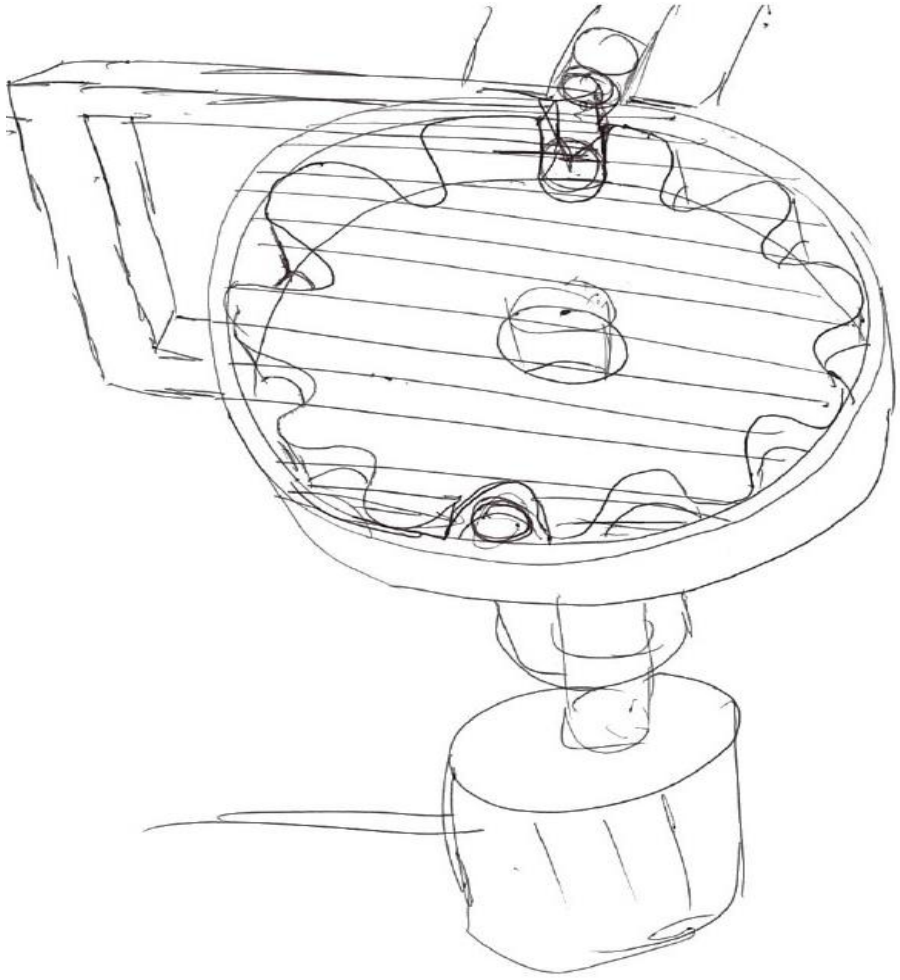
ANEXO H: Representação do Movimento Atual e Proposta de Inserção de Barreiras



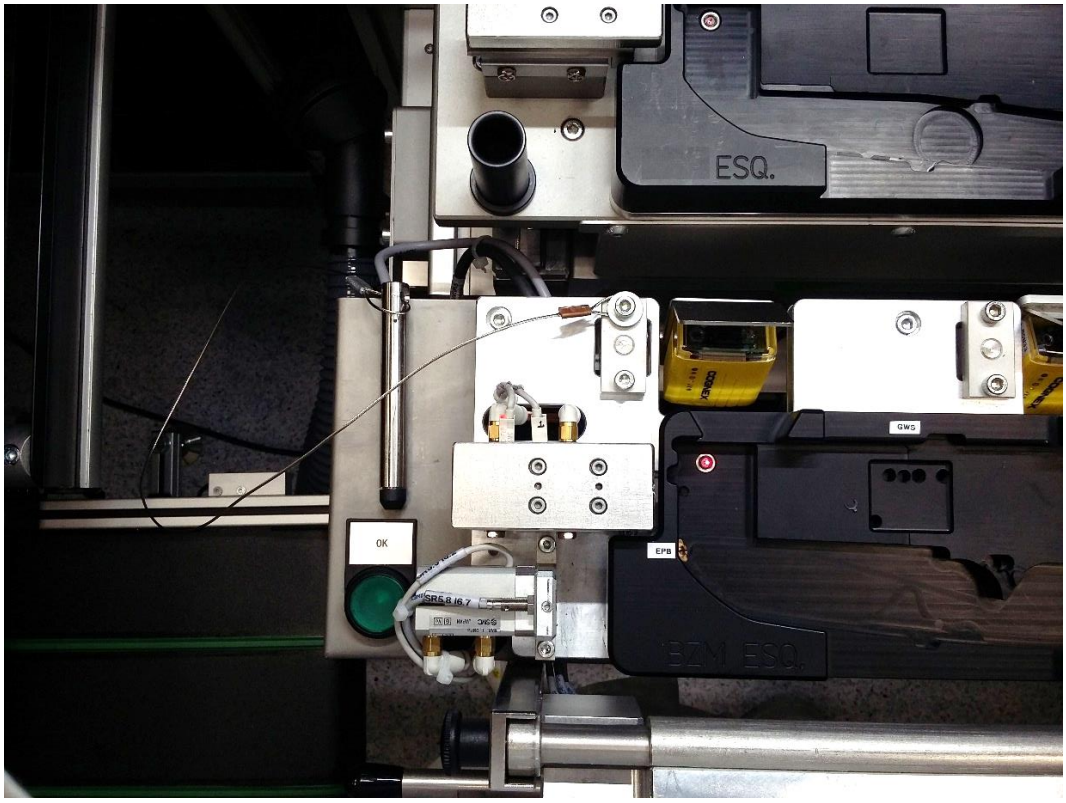


ANEXO I: Estação OP101 – Estado atual e Proposta de Melhoria



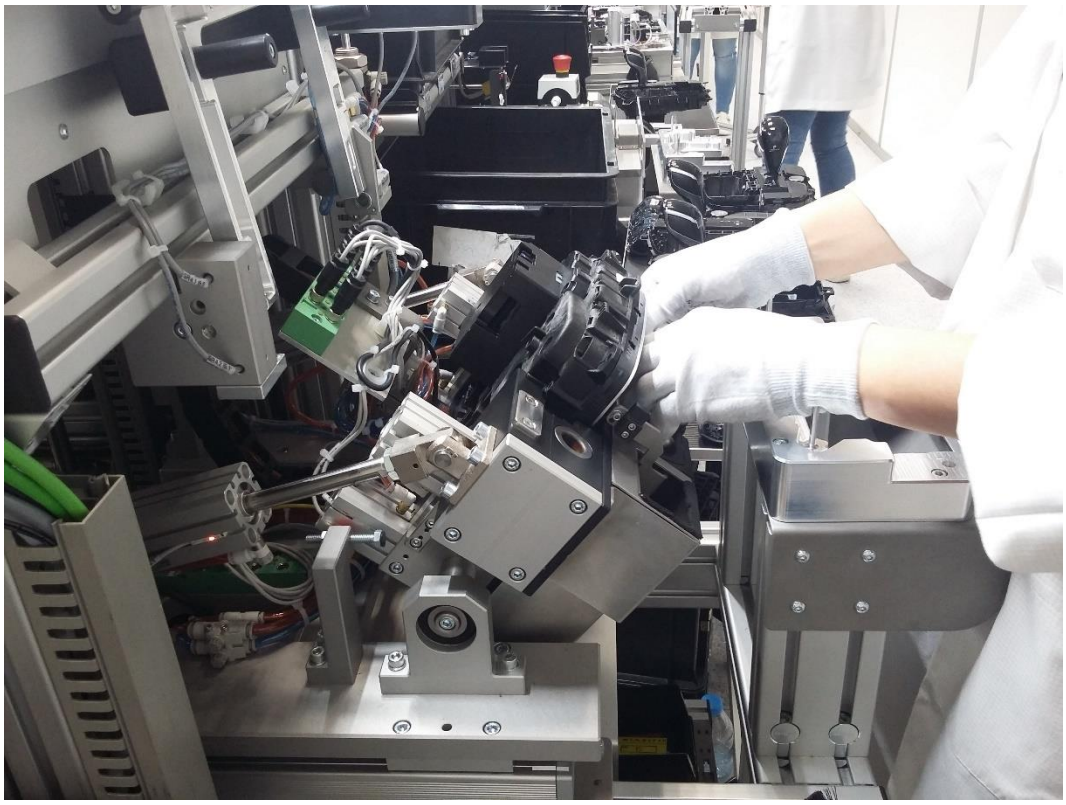


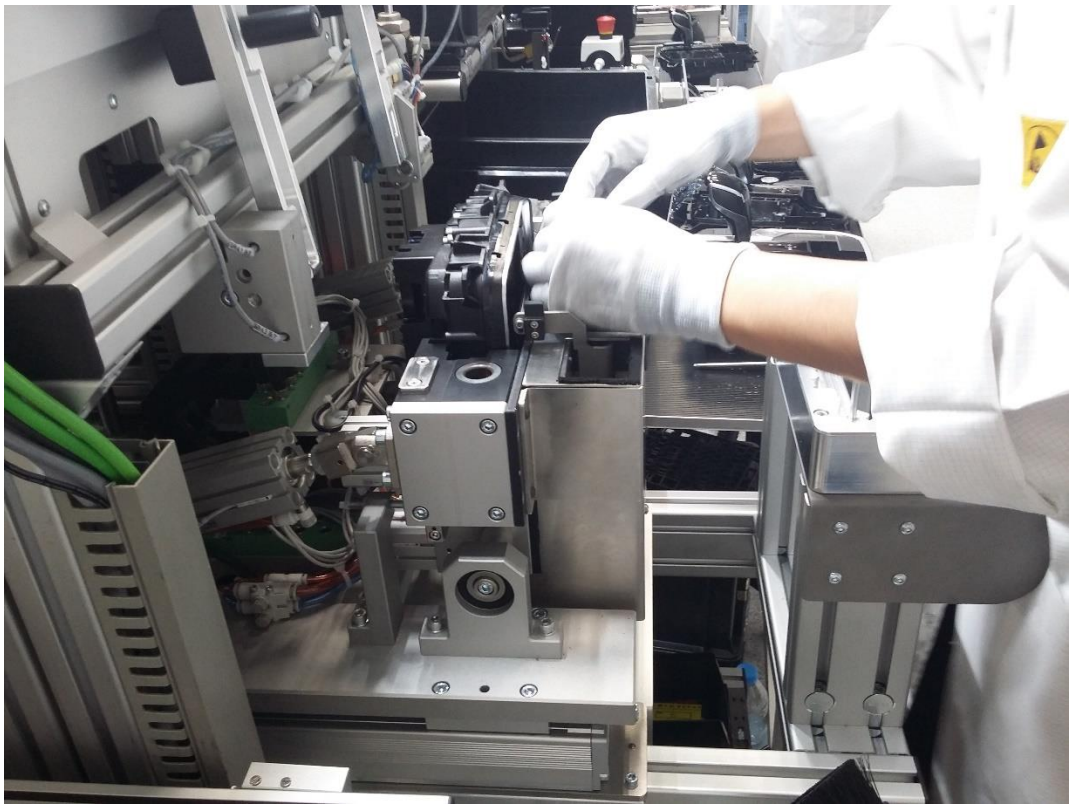
ANEXO J: Estação OP80 – Estado atual e Proposta de Melhoria



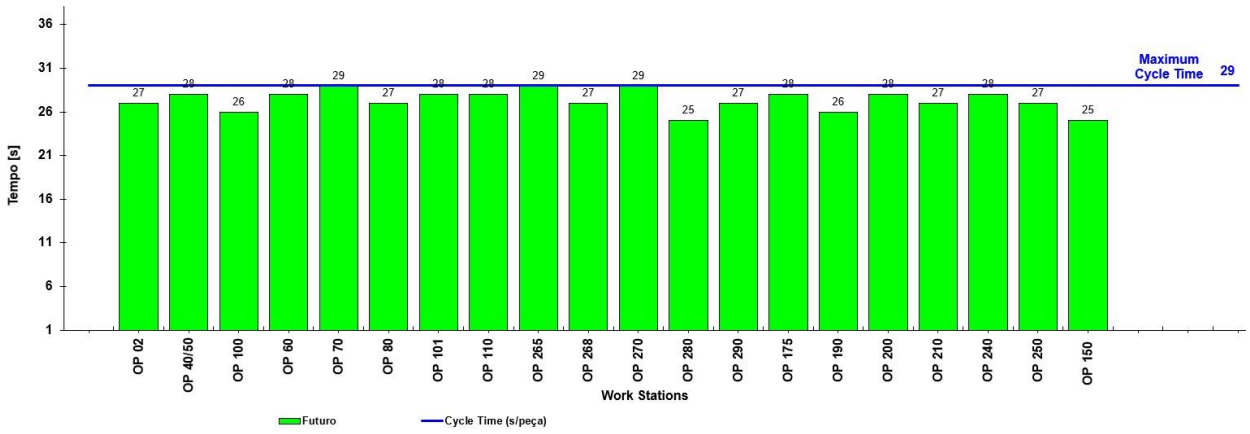


ANEXO K: Estação OP290 – Montagem atual do cabo e montagem proposta

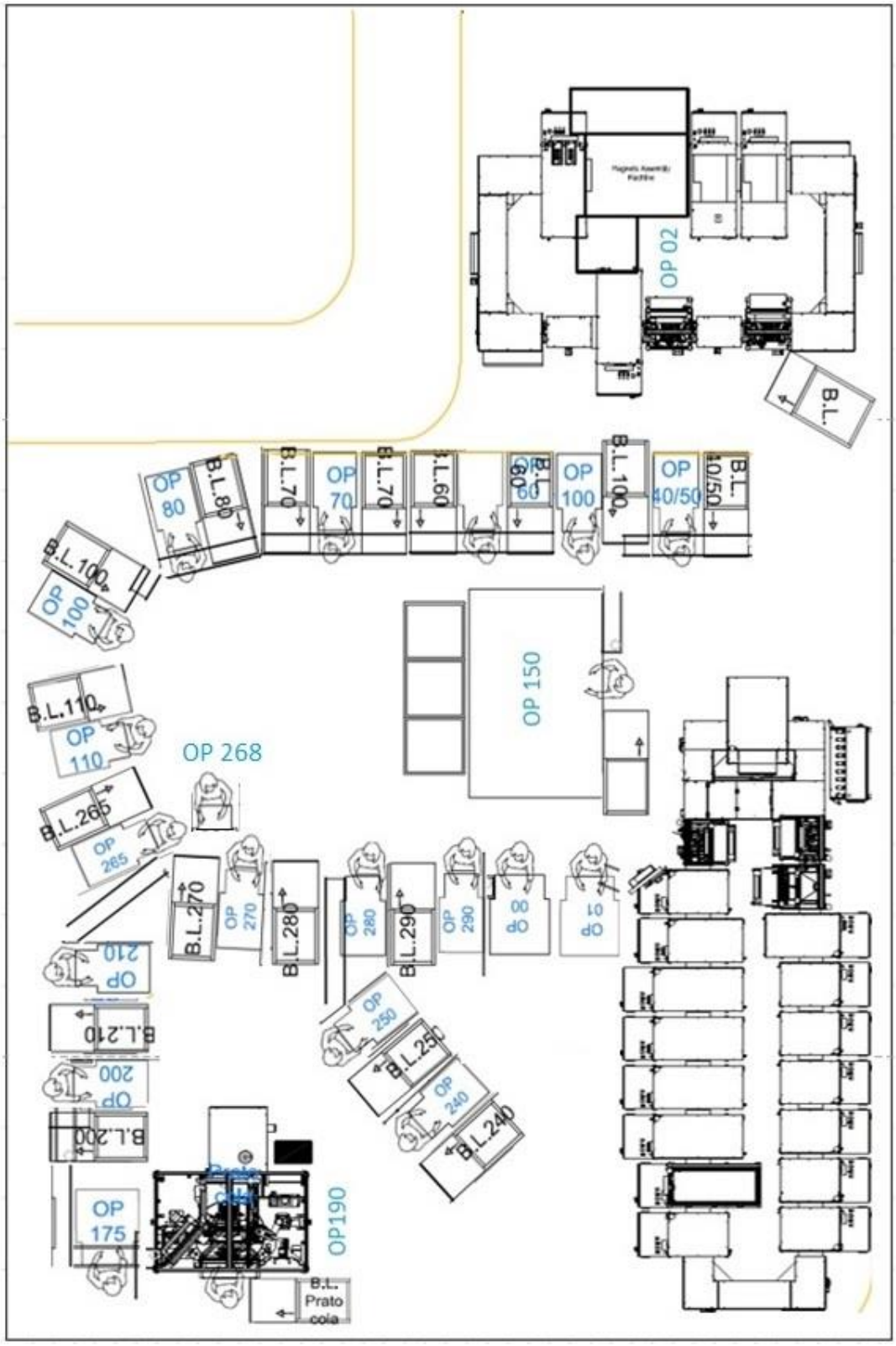




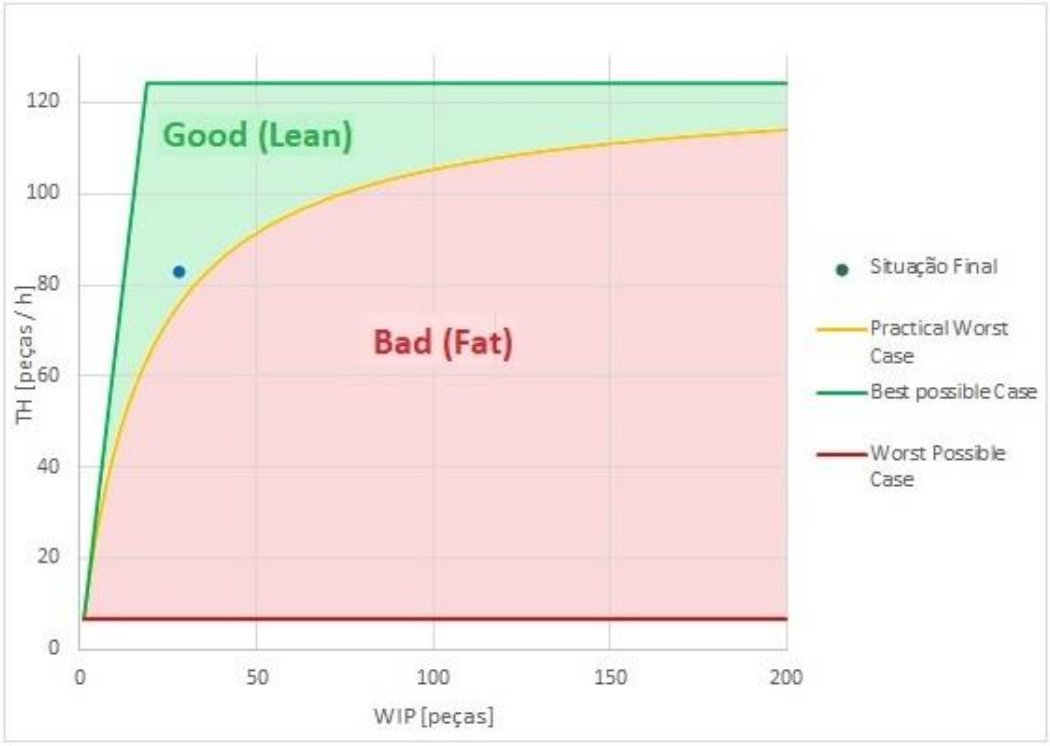
ANEXO L: Tempos de Ciclo Após Implementação das Propostas de Melhoria

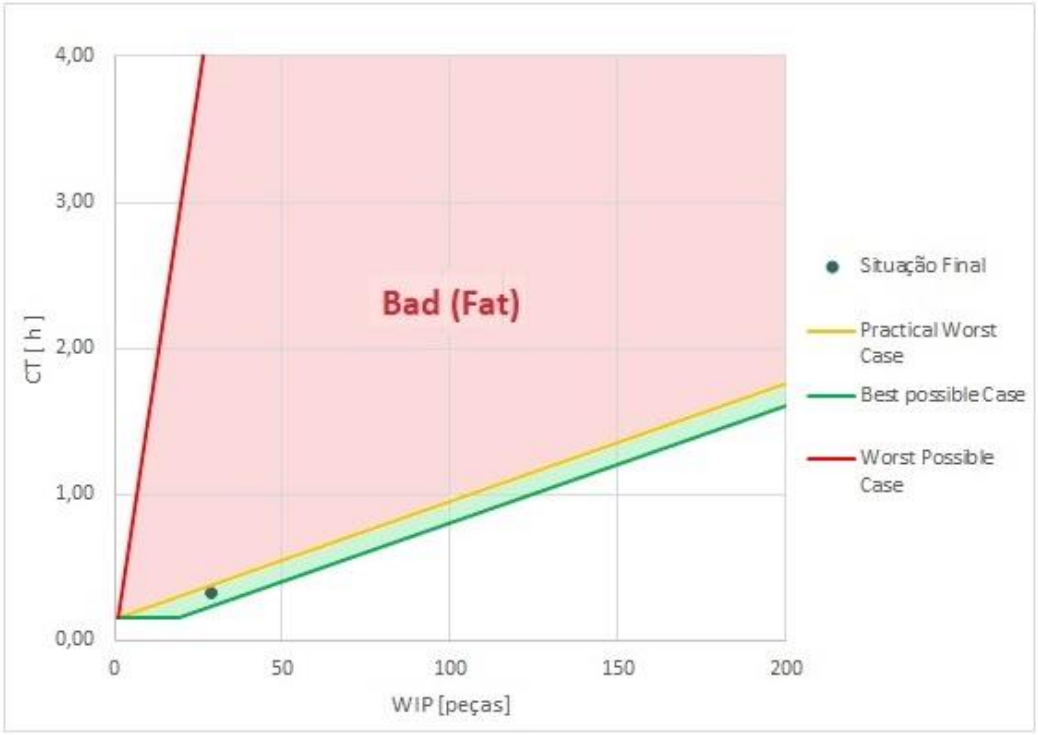


ANEXO M: Proposta de Mudança de Layout



ANEXO N: Desempenho Futuro Após Implementação das Propostas de Melhoria





ANEXO O: Proposta de Mudança de Layout na Zona dos Retrabalhos

