

Programa de melhorias na produção de pré-series num fornecedor da indústria automóvel

Filipe Miguel Monteiro Veloso Cadilhe Figueiredo

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Eduardo Gil da Costa



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2018-02-24

A todos os que me guiaram neste percurso

Resumo

A migração para uma nova infraestrutura e a gestão de um departamento de pré-séries, responsável pela construção e preparação de equipamentos, obriga à existência de competências organizacionais excepcionais.

Ao longo deste documento é descrita a diversidade de tarefas necessárias para um colaborador responsável pela construção de equipamentos, juntamente com possíveis metodologias e propostas para as tornar mais simples, assim como o tipo de mentalidade de **melhoria contínua** a seguir.

O fluxo documental do departamento de pré-séries é analisado, assim como três linhas de montagem atualmente existentes nas suas instalações, sendo duas delas abordadas de forma mais aprofundada, embora em fases distintas, e a terceira linha apenas analisada no âmbito do seu *layout*. Para cada uma destas linhas são analisadas possíveis melhorias.

No caso da documentação, foi desenvolvida uma aplicação informática que automatiza um processo anteriormente realizado de forma inteiramente manual.

Relativamente a uma das linhas, foram analisados problemas existentes em vários sentidos e foram implementadas soluções para cada um destes problemas, relativos a tópicos como **ergonomia do operador, qualidade do produto final, esperança de vida do equipamento**, entre outros. Realizou-se, também, uma análise à possibilidade de personalizar o armazenamento de componentes na linha, tendo sido desenvolvida uma solução para este problema.

Para a outra linha, foi realizada uma abordagem semelhante. No entanto, tendo em conta a fase mais avançada desta, foi considerado um KPI importante adicional – o **tempo de ciclo**.

Existem mais situações em que o fluxo documental deste departamento pode ser simplificado, padronizado e, até, automatizado, sendo um possível trabalho futuro a investigação de outros processos burocráticos, para que estes possam ser melhorados.

Os equipamentos presentes nesta secção estão em constante metamorfose, tal como a sua permanência na empresa, que é temporária. Desta forma, é importante a implementação de ideologias *Lean* para que os desperdícios existentes possam ser, tanto quanto possível, eliminados.

Improvement program for the pre-series department of an automotive industry supplier

Abstract

The migration towards a new infrastructure and the management of a pre-series department, responsible for the equipment construction and preparation, propels the existence of exceptional organizational skills.

Throughout this document, the diversity of the necessary tasks for someone whom is responsible for the equipment construction is described, along with the possible procedures to make them less complex, as well as the kind of mindset that is the one of **continuous improvement**.

The document flow of the department is analysed, as well as three different assembly lines, which are, currently, on its workgrounds – two of them have a deeper approach, while the other one is only examined for its layout.

The possible improvements for each of these aspects were investigated.

Na application was developed to accommodate the needs of the worker, who has some forms to fill out manually.

The lines had their problems thoroughly examined, taking into account factors like **operator's ergonomics, final product quality** or **equipment's life expectancy**. Furthermore, for one of the lines, the component storage (BOL) was customized to fit the operator's needs. For the other one, at a later stage, an important KPI was also taken into account: the **cycle time** of each equipment.

There are other situations where the document flow can be made easier, standardized and automatized, one of the future prospects being of analyzing other situations and developing an application that unifies all of these bureaucratic processes.

The equipments currently in this department are at a constant stage of metamorphosis, like its stay is also temporary. Thus, it's important to implement *Lean* ideologies to remove the existing wastes.

Agradecimentos

Por todo o apoio (por vezes, incondicional) que me foi prestado ao longo de todo este percurso académico, não me cingindo à elaboração deste documento, devo os meus profundos agradecimentos a várias pessoas, mencionadas de seguida.

Ao Sr. Eng. Eduardo Gil da Costa, pela vasta disponibilidade que demonstrou para acompanhar todo o processo, assim como pelas suas excelentes contribuições para me aconselhar, encaminhando-me para a direção correta.

Ao Sr. Eng. Cavaleiro, por todo o acompanhamento que me ofereceu ao longo desta jornada de quatro meses, não esquecendo as suas valiosas contribuições para a minha orientação durante todo o processo.

À Elisabete, pelo excelente desempenho a proporcionar a minha inserção e integração na empresa, assim como todas as ajudas prestadas ao longo da minha estadia.

Ao Jorge, ao Marco, ao Luís, ao António e todos os outros colegas da Preh, que, sempre que possível, mostraram a máxima disponibilidade para me auxiliar em quaisquer problemas que eu tenha enfrentado, facultando, também, a minha integração.

A todos os outros trabalhadores da Preh, cuja simpatia e disponibilidade são, sem dúvida alguma, excecionais.

A todos os meus colegas de curso e mesmo de outros cursos que me apoiaram nesta fase crucial do meu percurso académico.

Aos meus pais e familiares, cujo apoio verdadeiramente incondicional me garantiu as melhores condições possíveis ao longo de todo o meu percurso, não só académico, mas sim em todas as dimensões ou vertentes possíveis.

À Catarina, que me proporcionou, um vasto número de vezes, a inspiração necessária para que eu pudesse tomar sempre o rumo correto, aprumar-me quando estou desorientado, quer através da sua compreensão, carinho, ou incentivo constantes e perpétuos.

Aos meus amigos, por todo o apoio e paciência, por me transmitirem o conforto necessário no meu dia-a-dia, possibilitando a minha descompressão nos piores momentos, assim como o meu orgulho nos melhores.

A todas as pessoas cujo nome não está mencionado acima, mas também contribuíram para o meu sucesso académico.

Índice de Conteúdos

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	APRESENTAÇÃO DA PREH PORTUGAL LDA.	1
1.2	DESCRIÇÃO DO PROJETO E OBJETIVOS	2
1.3	METODOLOGIA SEGUIDA NO PROJETO	2
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
2	ENQUADRAMENTO TEÓRICO	4
2.1	O PARADIGMA LEAN MANUFACTURING E A SUA HISTÓRIA	4
2.1.1	A inspiração para a mudança	4
2.1.2	O novo paradigma	5
2.2	TIPOS DE DESPERDÍCIO	6
2.3	AS FERRAMENTAS LEAN	10
2.3.1	Especificação do valor e <i>Value Stream Mapping</i>	10
2.3.2	Push-Pull flow e Just-in-time	11
2.3.3	A filosofia 5S	12
2.3.4	Kaizen	13
2.3.5	Single Minute Exchange of Die (SMED)	14
2.3.6	Gestão Visual	16
2.3.7	Diagrama de Pareto e a regra 80-20	16
2.3.8	Design de <i>layouts</i>	17
2.4	SIX SIGMA (6σ)	19
2.5	TEORIA DAS RESTRIÇÕES	20
3	A CRIAÇÃO DE UM NOVO DEPARTAMENTO DE PRÉ-SÉRIES – A SITUAÇÃO INICIAL	22
3.1	O <i>LAYOUT</i> DAS LINHAS DE PRODUÇÃO DO NOVO DEPARTAMENTO	22
3.1.1	PJ1	23
3.1.2	AA38	24
3.1.3	SmartDisplay Portugal, China e México	25
3.2	A LINHA DE MONTAGEM PJ1	26
3.3	A LINHA DE MONTAGEM SMARTDISPLAY MÉXICO	29
3.4	DOCUMENTAÇÃO E FLUXO DOCUMENTAL	31
4	SOLUÇÕES E MELHORIAS PROPOSTAS	33
4.1	MELHORIAS NO <i>LAYOUT</i> DA LINHA AA38	33
4.2	MELHORIAS NA LINHA DE MONTAGEM PJ1	34
	Definição de Bordos de Linha personalizados	35
4.3	MELHORIAS NA LINHA DE MONTAGEM SMARTDISPLAY MÉXICO	36
5	PROTÓTIPO EXCEL PARA AS MELHORIAS DO FLUXO DOCUMENTAL	38
5.1	FUNCIONALIDADES PRINCIPAIS	38
5.2	OUTRAS FUNCIONALIDADES	40
6	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO	41
	REFERÊNCIAS	42
	ANEXO A: LAYOUTS INICIAL E PROPOSTO DO DEP. DE PRÉ-SÉRIES	44
	ANEXO B: VISTA EXPLODIDA DOS PRODUTOS FINAIS DA LINHA DE MONTAGEM SMARTDISPLAY MÉXICO	46

ANEXO C: TEMPOS DAS OPERAÇÕES REALIZADAS NOS EQUIPAMENTOS DA LINHA SMARTDISPLAY.....	47
ANEXO D: TEMPOS DAS OPERAÇÕES REALIZADAS NOS EQUIPAMENTOS DA LINHA SMARTDISPLAY – APÓS MELHORIAS	52
ANEXO E: MELHORIAS IMPLEMENTADAS NA LINHA DE MONTAGEM SMARTDISPLAY.....	57
ANEXO F: MELHORIAS IMPLEMENTADAS NA LINHA DE MONTAGEM PJ1.....	61
ANEXO G: BORDOS DE LINHA IMPLEMENTADOS NA LINHA PJ1	62
ANEXO H: FLUXOGRAMA DA APLICAÇÃO INFORMÁTICA CONCEBIDA.....	69

Siglas

6σ	.....	Six Sigma
BOL	.....	Bordo de Linha
CONWIP	.....	Constant Work in Progress
CT	.....	Cycle Time
CT _m	.....	Machine Cycle Time
DPMO	.....	Defects Per Million Opportunities
EOL (ou EOLT)	.....	End-of-Line (Test)
JIT	.....	Just in Time
KPI	.....	Key Performance Indicator
PO	.....	Purchase Order
SMED	.....	Single Minute Exchange of Die
TOC	.....	Theory of Constraints
TPS	.....	Toyota Production System
VS	.....	Value Stream
VSM	.....	Value Stream Mapping
WIP	.....	Work in Progress
WS	.....	Workstation

Índice de Figuras

Figura 1 – Controlo central do gama automóvel BMW série 5	1
Figura 2 – Controlo central do modelo automóvel Audi Q7.....	1
Figura 3 – A estrutura <i>Lean</i>	2
Figura 4 – Linha de montagem de chassis de um modelo Ford (1933).....	4
Figura 5 – Tipos de desperdício (<i>muda</i>).....	6
Figura 6 – A estrutura de um <i>Value Stream Map</i>	10
Figura 7 – Antagonismo <i>push-pull</i>	11
Figura 8 – Representação esquemática da filosofia 5S.....	12
Figura 9 – O termo "Kaizen" no alfabeto japonês – a palavra de cima significa “mudança” e a de baixo “virtude” – o conjunto significa “mudança para melhor”.....	13
Figura 10 – SMED - Etapa 0	14
Figura 11 – SMED - Etapa 1	14
Figura 12 – SMED - Etapa 2	14
Figura 13 – SMED - Etapa 3a	15
Figura 14 – SMED - Etapa 3b	15
Figura 15 – Esquema para identificação e distinção entre tarefas internas e externas.....	15
Figura 16 – Exemplo de gestão visual com valores da OEE.....	16
Figura 17 – Exemplo de um diagrama de Pareto	16
Figura 18 – Área de valor acrescido de um operador.....	17
Figura 19 – O exemplo de uma célula de produção – evidencia-se a forma em U.....	17
Figura 20 – Tipos de abastecimento para BOLs.....	18
Figura 21 – Representação gráfica de <i>Six Sigma</i>	19
Figura 22 – Ciclo dos " <i>Five Focusing Steps</i> ".....	21
Figura 23 – Layout da linha PJ1 no dep. de pré-séries.....	23
Figura 24 – Layout previsto para a linha PJ1 no destino final	23
Figura 25 – Layout da linha AA38 no dep. de pré-séries.....	24
Figura 26 – Layout da linha SmartDisplay China no dep. de pré-séries.....	25
Figura 27 – Layout da linha SmartDisplay México no dep. de pré-séries	25
Figura 28 – Layout da linha SmartDisplay Portugal no dep. de pré-séries.....	25
Figura 29 – Diagrama de precedências da linha de montagem do produto F (PJ1).....	26
Figura 30 – Diagrama de precedências da linha de montagem do produto R (PJ1).....	26
Figura 31 – Frente e lateral de um bordo de linha genérico tipo " <i>rack</i> "	28
Figura 32 – Diagrama de precedências da linha de montagem do produto L (SmartDisplay).29	
Figura 33 – Diagrama de precedências da linha de montagem do produto F (SmartDisplay).29	
Figura 34 – Proposta para o layout da linha de montagem AA38.....	33
Figura 35 – Proposta para o layout da linha de montagem PJ1.....	34

Figura 36 – Fluxograma utilizado na decisão de armazenamento para BOL.....	35
Figura 37 – Layout proposto para a linha SmartDisplay México	36
Figura 38 – Folha de cálculo principal para pedido de alocação de fundos.....	38
Figura 39 – Dados a preencher para realizar o pedido	39
Figura 40 – Caixa de diálogo após gravação do ficheiro	39
Figura 41 – Caixa de diálogo para os envios individuais de e-mail.....	40
Figura 42 – Caixa de diálogo aberta pelo botão “ <i>Improvements & Problems</i> ”	40
Figura 43 – Caixa de diálogo aberta pelo botão “ <i>What do the colours of the cells in column B mean?</i> ”.....	40
Figura 44 – Layout inicial do piso inferior do departamento de pré-séries.....	44
Figura 45 Layout proposto para o piso inferior do departamento de pré-séries.....	45
Figura 46 Vista explodida do produto L.....	46
Figura 47 Vista explodida do produto F.....	46
Figura 48 – BOL para o equipamento OP10 – lado direito.....	62
Figura 49 – BOL para o equipamento OP10 – lado esquerdo.....	63
Figura 50 – BOL para o equipamento OP20 – lado esquerdo.....	64
Figura 51 – BOL para o equipamento OP30 – lado direito.....	65
Figura 52 – BOL para o equipamento OP30 – lado esquerdo.....	66
Figura 53 – BOL para o equipamento OP10 Rear – lado direito	67
Figura 54 – BOL para o equipamento OP10 Rear – lado esquerdo	68

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Níveis <i>Sigma</i> e respectivos valores	19
Tabela 2 – Valores para o cálculo do <i>takt time</i> da linha PJ1	26
Tabela 3 – Problemas detetados na linha PJ1	27
Tabela 4 – Valores para o cálculo do <i>takt time</i> da linha SmartDisplay	29
Tabela 5 – Resumo dos tempos dos equipamentos da linha SmartDisplay	30
Tabela 6 – Resumo dos tempos dos equipamentos – após melhorias – da linha SmartDisplay	37
Tabela 7 – Operações realizadas no OP10 (e respectivos tempos) da linha SmartDisplay	47
Tabela 8 – Operações realizadas no OP15 (e respectivos tempos) da linha SmartDisplay	48
Tabela 9 – Operações realizadas no OP20 (e respectivos tempos) da linha SmartDisplay	49
Tabela 10 – Operações realizadas no OP25/30 (e respectivos tempos) da linha SmartDisplay	50
Tabela 11 – Operações realizadas no EOL (e respectivos tempos) da linha SmartDisplay	51
Tabela 12 – Operações realizadas no OP10 (e respectivos tempos) da linha SmartDisplay – após melhorias	52
Tabela 13 – Operações realizadas no OP15 (e respectivos tempos) da linha SmartDisplay – após melhorias	53
Tabela 14 – Operações realizadas no OP20 (e respectivos tempos) da linha SmartDisplay – após melhorias	54
Tabela 15 – Operações realizadas no OP25/30 (e respectivos tempos) da linha SmartDisplay – após melhorias	55
Tabela 16 – Operações realizadas no EOL (e respectivos tempos) da linha SmartDisplay – após melhorias	56
Tabela 17 – Melhorias implementadas nos equipamentos OP10 e 15 da linha SmartDisplay	57
Tabela 18 – Melhorias implementadas no OP20 da linha SmartDisplay	58
Tabela 19 – Melhorias implementadas no OP25/30 da linha SmartDisplay	59
Tabela 20 – Melhorias implementadas no EOL da linha SmartDisplay	60

1 Introdução

O presente projeto foi realizado no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e realizado em ambiente empresarial na empresa Preh Portugal, tendo a estadia na empresa decorrido desde o dia 5 de fevereiro de 2018 até ao dia 15 de junho de 2018.

1.1 Apresentação da Preh Portugal Lda.

A Preh Portugal Lda. instalou-se há mais de 40 anos na Trofa. Faz parte do grupo Preh, cuja sede, Preh GmbH., situada em *Bad Neustadt ant der Saale*, Alemanha, foi fundada em 1919 por Jakob Preh, trazendo inovações no mercado de recetores de rádio. Desde aí, à medida que outros mercados se foram desenvolvendo, o grupo ganhou presença noutras áreas, como a de teclados e de sensores potenciométricos. Atualmente, o grupo situa-se também em países como a China, México ou a Roménia e o mercado onde incide é o de componentes eletrónicos para a indústria automóvel, contando com clientes como a BMW (Figura 1) ou a Audi (Figura 2).



Figura 1 – Controlo central do gama automóvel BMW série 5



Figura 2 – Controlo central do modelo automóvel Audi Q7

A empresa tem como principal objetivo possibilitar uma inovação contínua, não só nos produtos finais que são fornecidos ao cliente, como também na metodologia utilizada para os idealizar, conceber e produzir em série, respeitando sempre as necessidades do utilizador final. Para que estes ideais se concretizem, elevados padrões são utilizados, quer a nível de qualidade, quer de eficiência, entre outros, fazendo uso de ferramentas de *Lean Manufacturing*, como, por exemplo, o *Single Minute Exchange of Die (SMED)*, o *Value Stream Mapping (VSM)*, o *Low Cost Automation (LCA)*, entre outras, que serão abordadas com maior detalhe.

A metodologia adotada permite um acréscimo de valor às operações executadas por todos os colaboradores da empresa, que constitui um dos objetivos primários da ideologia *Lean*.

1.2 Descrição do projeto e objetivos

Recentemente, a localização do departamento de pré-séries foi alterada para novas instalações, de modo a que fosse possível acomodar as necessidades constantemente emergentes de espaço. Esta alteração implica a reestruturação de vários standards e outros fatores já existentes, para que seja possível prosseguir, e aperfeiçoar o funcionamento normal do departamento.

Esta dissertação tem, como objetivo, documentar a organização do novo departamento de construção de linhas de montagem (pré-séries¹) da Preh Portugal Lda.

Os objetivos definidos para o presente projeto são:

- Uma resposta mais eficiente às solicitações de prazos e de cotações;
- A melhoria do fluxo de documentação, eliminando, sempre que possível, processos desnecessários;
- A melhoria do *layout* da área de pré-séries, de modo a garantir uma organização que permita minimizar a *muda*²;

Este projeto envolve, também, a consolidação da interligação entre as equipas de pré-séries, construção mecânica e software.

1.3 Metodologia seguida no projeto

Todo o trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação foi estruturado de modo a manter em primeiro plano a ideologia *Lean Manufacturing*, como está representada na Figura 3, nomeadamente o VSM, o 5S, o SMED entre outras; o objetivo é assegurar não só a melhoria contínua dos processos deste departamento, como também a interiorização deste conceito para tarefas do dia-a-dia, aparentemente irreduzíveis que, quando analisadas minuciosamente, permitem a conclusão de que, afinal, são simplificáveis. Em suma, pretendeu-se implementar a procura constante pela melhoria contínua, dando a entender aos colaboradores a necessidade, assim como a enorme utilidade desta.

Ao longo do projeto, foram realizadas análises:

- À documentação de apoio existente e o seu fluxo;
- Ao *layout* da área de pré-séries;
- A duas linhas de montagem instaladas no departamento de pré-séries.

Para a melhoria do fluxo documental, foram realizadas pequenas auditorias de modo a estabelecer os principais problemas iniciais, como os melhorar, e que operações seriam

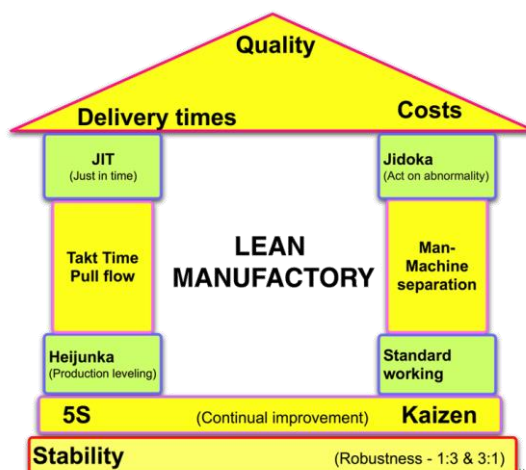


Figura 3 – A estrutura *Lean*

¹ A designação pré-séries é utilizada como referência à fase de construção das linhas de montagem, antes de estas se encontrarem na fase de produção em série.

² Desperdício, na língua japonesa. Palavra utilizada com frequência para descrever qualquer ação ou processo desnecessários.

padronizáveis através de uma aplicação com base na linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*).

Para o layout da área de pré-séries, foi realizada uma análise inicial, seguida de várias outras, à medida que novas linhas de montagem se encaminhavam para o departamento.

Para as duas linhas de montagem, desde que estas foram instaladas no departamento, foram realizadas várias auditorias, juntamente com as equipas da sede do grupo Preh, de modo a aferir pontos em aberto e possíveis formas de os corrigir.

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação subdivide-se em seis capítulos– a introdução, o enquadramento teórico dos temas abordados, a situação inicial dos tópicos abordados, as propostas implementadas, ou sugeridas, caso não tenha havido tempo suficiente para realizar a implementação destas, a aplicação informática desenvolvida para melhoria do fluxo documental e as conclusões retiradas do trabalho desenvolvido.

No primeiro capítulo, foi realizada a apresentação da empresa, assim como a contextualização do projeto e os seus objetivos, seguidos pela metodologia utilizada e a estrutura deste documento.

No segundo capítulo referido, é realizada uma pequena introdução histórica, seguida de uma abordagem de vários métodos utilizados, estando a maioria associada à filosofia *Lean*.

No terceiro, é descrita a situação inicial de vários aspetos do novo departamento de pré-séries, como o fluxo documental para o desbloqueio de fundos associados a um projeto, assim como o layout de algumas linhas de montagem, e informações mais detalhadas de duas destas: a SmartDisplay e a PJ1.

No quarto, são apresentadas soluções para os problemas descritos no capítulo anterior.

No quinto capítulo, é descrito o protótipo concebido para a melhoria no fluxo documental do departamento de pré-séries.

No capítulo final, são descritas as conclusões retiradas da execução deste projeto.

2 Enquadramento teórico

Ao longo deste capítulo, serão realizados enquadramentos de paradigmas relevantes para o caso de estudo, tais como *Lean Manufacturing* e *Six Sigma*.

2.1 O paradigma Lean Manufacturing e a sua história

Antes de mais, é importante definir o termo *Lean Manufacturing*:

“Fazer mais com menos com o emprego do pensamento lean. A produção lean envolve esforços incessantes para eliminar ou reduzir a muda (termo Japonês para desperdício ou qualquer atividade que consuma recursos sem adicionar valor) em design, produção, distribuição e processos de apoio ao cliente. Desenvolvido pelo diretor executivo da Toyota, Taiichi Ohno (1912-1990) durante o período de reconstrução pós-segunda guerra mundial no Japão, e tornado popular por James P. Womack e Daniel T. Jones no seu livro de 1996 – “Lean Thinking”. (...)” (Durkee 2008)

2.1.1 A inspiração para a mudança

Esta filosofia *Lean* baseou-se, inicialmente, nos primórdios da *Ford Motor Company*, na década de 1910.

Henry Ford ter-se-á comprometido, em 1913, a criar o melhor produto possível, que seria, neste caso, o *Model T*. Para tal, no entanto, a sua metodologia terá assentado na **eliminação** de desperdício e no aumento da **eficiência** dos seus trabalhadores.

Para alcançar estes objetivos, Ford terá focado os seus esforços através de:

- **Padronização** de processos – os seus trabalhadores teriam de seguir os mesmos processos de produção todos os dias;
- **Redução de movimentação** desnecessária – segundo Ford, cerca de 95% das atividades dos seus operadores não eram produtivas, isto é, não representavam valor acrescido. Como tal, Ford terá tentado eliminar todo o desperdício neste sentido;
- **Reutilização** de materiais desperdiçados – alguns materiais utilizados no processo não seriam utilizados no produto final e eram, assim, considerados desperdício; no entanto, Ford terá conseguido estabelecer formas de reutilizar estes materiais, como por exemplo, a venda de alguns sulfuretos (utilizados no processo) para fertilização ou a destilação de madeira (utilizada no processo) para a produção de outros químicos;
- Produção **just-in-time (JIT)** – Ford estava ciente da importância de evitar inventários elevados e, como tal, adotava uma lógica **pull**, e não **push**;
- **Aumento progressivo de salários** – como produto desta nova metodologia, o lucro da empresa terá aumentado bastante, o que possibilitou o aumento dos salários dos operadores para o quádruplo (Ford e Crowther 1922).



Figura 4 – Linha de montagem de chassis de um modelo Ford (1933)

O intuito deste novo paradigma fora, portanto, que quaisquer trabalhadores conseguissem criar peças de custo reduzido para as massas, sem necessidade de qualquer formação específica. Assim, esta transição resultou numa migração de custos e de recursos para novos setores como, por exemplo, a **gestão da produção**.

No entanto, como acontece com qualquer mudança de paradigma, esta filosofia apresentou limitações. Neste caso, a grande limitação era única: **falta de versatilidade**. Esta metodologia mostrou-se revolucionária na produção do *Model T*, mas não suficientemente versátil para se adaptar a outros modelos. É, portanto, nesta fase da história do pensamento *Lean* que o testemunho é transmitido a Taiichi Ohno, considerado, hoje em dia, o pai do *Toyota Production System (TPS)*.

2.1.2 O novo paradigma

Avançando cerca de seis décadas, em 1973, vivia-se no Japão a crise do petróleo, levando a que o crescimento da economia nacional estagnasse totalmente. No entanto, a *Toyota Motor Company* não só não colapsou como sustentou os seus lucros em valores superiores a empresas equivalentes ao longo dos três anos seguintes. Como teria sido possível?

A resposta a esta pergunta remete para o fim da segunda guerra mundial. O seu desfecho resultou num colapso socioeconómico japonês; marcou, no entanto, um novo início para a empresa. Foi nesse dia que Toyoda Kiichirō, presidente da empresa, pediu:

“Alcancem a América (isto é a concorrência americana) dentro de três anos. Caso contrário, a indústria automobilística japonesa não sobreviverá” – Toyoda Kiichirō (1894-1952)

Taiichi Ohno viajou, então, para a América para compreender o que criava a grande disparidade. Disseram a Ohno que um trabalhador alemão era capaz de produzir o triplo de um japonês, assim como um americano o triplo de um alemão; como tal, um trabalhador americano seria capaz de produzir o mesmo que nove japoneses – o trabalho de cem japoneses teria de ser capaz de ser produzido por dez. Assim, Ohno pensou que seria impossível que um trabalhador americano exercesse dez vezes mais esforço físico que um japonês, o que o trouxe à conclusão que representa um dos fundamentos da filosofia *Lean* – “nós [os japoneses] devemos estar a desperdiçar algo. Se conseguirmos eliminar o desperdício, a nossa produtividade deverá aumentar por um fator de dez” (Ohno 1988).

Posteriormente, Womack e Jones (1996) terão sumariado este paradigma em cinco passos:

1. **Especificar** (a fonte ou local do) **valor** – o passo que é da competência do cliente;
2. **Identificar o fluxo de valor** – definir os passos base necessários para produzir o produto final;
3. **Permitir o fluxo de valor** – os processos devem ser “alinhados”, de modo a facilitar o fluxo de valor (*Value Stream*);
4. **Esperar pelo pull (encomenda) do cliente** – o cliente deve encomendar com base na sua necessidade;
5. **Tentar alcançar a perfeição** – desenvolver os processos continuamente na busca da perfeição (Womack e Jones 1996) e (Parry e Turner 2006).

2.2 Tipos de desperdício

O desperdício, no contexto da filosofia abordada, também intitulado de *muda*, é toda a atividade que exige recursos, mas não produz valor. (Womack, Jones, e Roos 2007)

Segundo Ohno, deve ter-se duas premissas em mente ao tentar eliminar os desperdícios descritos na Figura 5:

- Melhorias na eficiência só fazem sentido quando ligadas a uma redução de custos. Para alcançar tais melhorias, apenas se deve produzir o que é necessário, utilizando o mínimo de esforço humano;
- Deve observar-se a eficiência de cada operador e de cada linha de produção. De seguida, a eficiência dos operadores como um grupo e, por fim, a de todas as linhas. Melhorias na eficiência devem realizar-se passo a passo e, simultaneamente, para a empresa como um todo.



Figura 5 – Tipos de desperdício (*muda*)

Segundo Ohno, existem sete tipos de desperdício, neste contexto empresarial. Estes são:

SOBREPRODUÇÃO

Nível de produção acima do necessário, ou antes do momento em que é necessário.

Por norma, ocorre aquando de:

- Existência de lotes de produtos sobredimensionados;
- Más metodologias de previsão ou instabilidade de procura;
- Células de produção desequilibradas;
- Tempos de espera elevados;
- Má relação com fornecedores, entre outras razões.

Este tipo de desperdício leva a elevados níveis de stock, outro tipo de desperdício descrito no ponto 5.

Deve apontar-se para uma produção o mais proporcional à procura possível, adotando a filosofia *Just-in-time* (descrita no subcapítulo 2.3.2).

TEMPO DE ESPERA

Tempo desperdiçado a esperar pelo passo seguinte num determinado processo.

Pode estar associado a:

- Linhas desequilibradas (que causam tempo de espera na estação a seguir ao *bottleneck*, por exemplo);
- Processos com baixo nível de fiabilidade;
- Faltas de informação;
- Processos de abastecimento demasiado lentos, entre outros.

Este tipo de desperdício leva os trabalhadores a perder tempo com atividades de valor não acrescido.

Para reduzir este tipo de desperdício, deve investir-se:

- No equilíbrio das linhas de produção, utilizando o *Takt time*;
- No aumento da fiabilidade dos equipamentos e ferramentas;
- Na supressão da sobreprodução e do inventário

TRANSPORTE

Movimentação desnecessária de produtos e/ou materiais.

É habitual estar associado a sobreprodução, que leva a um excesso de inventário, que, por sua vez, pode precisar de ser transportado para um armazém, por exemplo.

Causa custos desnecessários:

- No transporte ineficiente de produtos/materiais;
- No seu manuseio, quer a nível de recursos humanos como de equipamentos para tal;
- Pela necessidade de espaço extra para armazenamento.

Para alcançar a sua redução, deve-se:

- Estabelecer um layout da empresa de modo a reduzir este tipo de movimentação;
- Criar *Value Streams* (adereçados no subcapítulo 2.3.1);
- Seguir uma lógica *pull*, como a associada à filosofia *Just-in-time* (abordada no subcapítulo 2.3.2), em vez de *push*;

SOBRE PROCESSAMENTO

Mais trabalho/esforço ou qualidade do que é exigido pelo cliente.

Costuma estar associado a:

- Falta de (ou ambiguidade nos) padrões ou especificações de produção – podendo levar os trabalhadores a investir mais em atividades de pouca relevância e a desprezar as atividades de valor acrescido;
- Conceção de produtos com tolerâncias desnecessariamente rigorosas.

Causa:

- Realização excessiva de atividades de valor não acrescido;
- Utilização excessiva de materiais;
- Desgaste prematuro de equipamentos.

Para evitar estas ocorrências, convém:

- Implementar uma filosofia 5S (abordada no subcapítulo 2.3.3);
- Elaborar instruções claras de trabalho para os equipamentos;
- Padronizar o máximo possível de processos internos.

INVENTÁRIO

Excesso de produtos e/ou materiais em stock.

Está associado a:

- Sobreprodução – estes desperdícios estão intrinsecamente associados;
- Desequilíbrio das linhas de produção ou mau layout.

Pode ter como consequências:

- Custos excessivos de armazenamento e de transporte;
- Aumento progressivo dos tempos de espera;
- Necessidade de informação excessiva relativa aos produtos/materiais armazenados;
- Necessidade de espaço extra no armazém e, possivelmente, noutras locais da empresa.

Para reduzir estes excessos, pode-se:

- Seguir as soluções mencionadas para reduzir desperdícios de transporte;
- Utilizar cartões *Kanban* (descritos no subcapítulo 2.3.2).

MOVIMENTAÇÃO

Deslocação humana desnecessária.

Associa-se a:

- Mau layout de células de produção;
- Má distribuição/abastecimento das linhas de produção – mau posicionamento de produtos/materiais em bordos de linha;
- Falta de espaço na empresa;
- Má metodologia de trabalho.

Pode causar:

- Níveis de eficiência (do trabalho dos operadores) reduzidos;
- Absentismo dos operadores a longo prazo (caso haja situações pouco ergonómicas no trabalho dos operadores);
- Desgaste em equipamentos utilizados para transporte de produtos.

Para reduzir este tipo de desperdício, deve-se:

- Implementar filosofias 5S (abordada no subcapítulo 2.3.3) e *Single Minute Exchange of Die – SMED* (abordada no subcapítulo 2.3.5);
- Padronizar os processos dos trabalhadores;

FALTA DE QUALIDADE

Produção desnecessariamente excessiva de produtos defeituosos, ou de informação incorreta.

Associa-se a:

- Metodologia incorreta nas linhas de produção;
- Lacunas na manutenção dos equipamentos;
- Falta de formação dos trabalhadores;
- Falta de uma cultura (entre os trabalhadores) que valorize a sinalização de problemas recorrentes, fazendo com que os trabalhadores tentem, por outro lado, retirar o melhor de um produto que não é adequado.

Pode ter como consequência:

- Níveis elevados de componentes/produtos sucitados – baixo nível de produtividade;
- Necessidade constante de retrabalhar componentes/produtos.

Pode ser evitado, recorrendo a:

- Padronização dos processos nas linhas de produção;

- Utilização de mecanismos *Poka-Yoke*³ e *Jidoka*⁴;
- Implementação de uma mentalidade que incide na prevenção dos defeitos, na sua correção. (Ohno 1988), (Hicks 2007)

Womack e Jones referem, também, um oitavo tipo de desperdício:

TALENTO

Mau uso ou má gestão das capacidades dos trabalhadores.

É causado por:

- Uma cultura que não reconhece as mais-valias dos seus trabalhadores;
- Possível receio (por parte da gerência da empresa) que os trabalhadores exijam vencimentos superiores;
- Desinteresse (por parte da gerência da empresa) em despender tempo e outros recursos a explorar este tipo de situações.

Pode trazer:

- Desenvolvimento mais lento da empresa em si;
- Capacidade de resolução de problemas limitada;
- Perda de motivação dos trabalhadores;

Pode mitigar-se, recorrendo a:

- Estímulo do interesse por padrões de trabalho mais elevados;
- Formação dos trabalhadores e encorajamento de um espírito de trabalho em equipa;
- Investigação e triagem das capacidades dos trabalhadores. (Womack e Jones 1996)

Para alcançar a redução ou até eliminação destes problemas, recorre-se, então, a algumas ferramentas *Lean*, como é descrito de seguida.

³ Termo que, em japonês, significa “à prova de erros”. Refere-se a mecanismos que impedem que determinadas ações erradas sejam tomadas – por exemplo, um mecanismo que obriga à colocação de um componente de uma determinada forma numa cavidade é um *Poka-Yoke*.

⁴ Termo que, em japonês, significa “automação inteligente” ou “automação com um toque humano”. Refere-se a mecanismos cuja função é unicamente supervisora e não produtora – por exemplo, câmaras que verifiquem a posição de um determinado componente numa máquina para garantir a sua inserção correta são *Jidoka*.

2.3 As ferramentas Lean

A partir do novo paradigma concebido por Ohno, criaram-se várias ferramentas com o pensamento *Lean* como base – todos estes pretendem alcançar os objetivos desta filosofia.

2.3.1 Especificação do valor e *Value Stream Mapping*

A filosofia *Lean* assenta na eliminação de desperdícios em todos os processos em ambiente empresarial, como foi referido acima. Como tal, uma possível solução para a pôr em prática consiste em identificar os processos que geram valor para o cliente, para que os desperdícios, de forma inerente, sejam suprimidos.

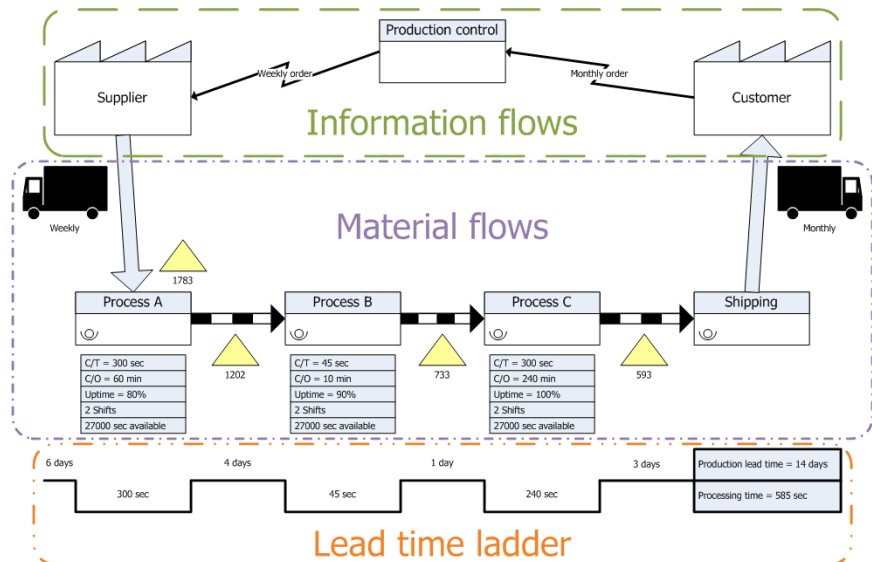


Figura 6 – A estrutura de um *Value Stream Map*

Segundo Womack e Jones, fluxo de valor é:

“O conjunto de todas as ações necessárias para fazer atravessar um produto pelas três tarefas de gestão críticas de qualquer empresa: [...] resolução de problemas, [...] gestão da informação, [...] transformação física” (Womack e Jones 1996)

Analogamente, Shingō Shigeo (1909-1990) define o processo como:

“Todas as ações (de valor acrescido ou não-acrescido) atualmente necessárias para levar um produto através dos fluxos principais, essenciais para todos os produtos” (Rother e Shook 2003)

Value Stream Mapping consiste no rastreio dos materiais e informação necessários para coordenar as atividades realizadas por trabalhadores, fornecedores e distribuidores **para fazer chegar o produto ao cliente final**.

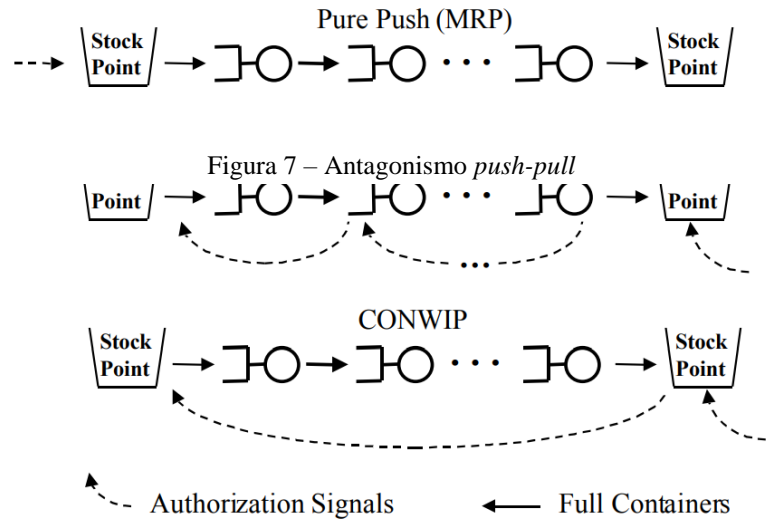
Esta ferramenta abrange **cinco** fases distintas:

1. Criação de um *VSM* atual;
2. Avaliação do *VSM* atual;
3. Identificação das lacunas/problemas atuais;
4. Criação de um *VSM* futuro (ideal);
5. Implementação do *VSM* ideal. (Liu e Yang 2017)

2.3.2 Push-Pull flow e Just-in-time

A metodologia de produção de uma empresa pode dividir-se em dois tipos: *push flow* e *pull flow*. Estas duas variantes são totalmente antagónicas, sendo que a apoiada pela filosofia *Lean* é *pull flow*.

A metodologia *push flow* representa a produção com base nos materiais disponíveis, isto é, produz-se enquanto tal for possível, independentemente da procura. A ordem de produção é criada no armazém (dos materiais), sendo que enquanto existirem materiais, existe produção. Este método **não é apoiado** pela filosofia *Lean*, visto que leva facilmente à **sobreprodução** e ao **excesso de inventários**.



Por outro lado, a metodologia *pull flow* refere-se à produção com base na procura, quer do cliente final, quer de uma fase posterior de um qualquer processo, isto é, apenas se produz consoante a necessidade arbitrada pela procura. Por exemplo, no contexto de uma linha de produção, a quantidade que se pretende produzir pode ser, **para cada equipamento**, definida pela necessidade da estação seguinte – **Kanban** – ou pela necessidade do cliente – **CONWIP** (*Constant Work In Progress*) (Hopp e Spearman 2011).

É, precisamente, com a utilização do *pull flow* que se torna possível alcançar a produção **Just-in-time**. Ohno define-a como:

“Just-in-time significa que, num determinado fluxo [de produção], os componentes necessários para a montagem [de um produto] chegam à linha de montagem no momento em que são necessários e na quantidade necessária. Uma empresa que estabeleça este tipo de fluxo consegue aproximar-se de um inventário nulo” (Ohno 1988)

A aproximação *JIT* é favorecida por situações de **procura estável, baixa complexidade de processo e fiabilidade elevada de abastecimento, equipamentos e planeamento**. A estabilidade da procura é importante para que possam ser definidos planos de abastecimento robustos, eliminando stock desnecessário. A baixa complexidade do processo é relevante na medida em que quanto mais elevado for, por exemplo, o número de componentes para produzir um produto final, mais elevado será o stock envolvido no processo. A fiabilidade elevada de abastecimento, equipamentos e planeamento garante que não há falhas de origem humana desnecessárias no processo (Albino e Garavelli 1995).

2.3.3 A filosofia 5S

A filosofia 5S é uma parte integrante das metodologias *Lean*, visto ser a mais facilmente aceiteada, ainda que seja difícil pô-la totalmente em prática.

Acredita-se que a mentalidade 5S é baseada nos princípios do Xintoísmo, do Budismo e do Confucianismo: o Xintoísmo baseia-se na **limpeza**⁵, o Confucianismo na **ordem** e o Budismo na **autodisciplina**. Estes valores contribuíram para a criação desta filosofia empresarial, que acabou por ser desenvolvida por *Takashi Osada* em 1989-1991 (De Mente e De Neufville 1994), (Randhawa e Ahuja 2017).

A sigla 5S refere-se a **cinco** termos japoneses (adaptados ao nosso alfabeto) cuja inicial é um “S”:



Figura 8 – Representação esquemática da filosofia 5S

1. **Seiri (organização)**: Distinção evidente do que é desnecessário e respetiva eliminação. Consiste na organização e permanência apenas do que é necessário – ajuda a eliminar atividades de valor não acrescido de todos os tipos;
2. **Seiton (arrumação)**: Distribuição do que é necessário pelos seus respetivos locais, de modo a assegurar um fácil acesso. Permite a redução de desperdício de movimentação e transporte, sendo que os tempos associados a estas atividades são reduzidos significativamente;
3. **Seiso (limpeza)**: Limpeza de toda a área de trabalho, quer seja de pó, resíduos, ou qualquer outro tipo de sujidade. Permite o aumento da fiabilidade dos equipamentos, da qualidade dos produtos, da segurança no trabalho, e contribui para um bom ambiente empresarial;
4. **Seiketsu (padronização)**: Criação de padrões que garantam uma área de trabalho produtiva e confortável, isto é, padrões que assegurem a imposição dos primeiros três “S”. Permite baixos custos de manutenção e aumentos na eficiência dos processos;
5. **Shitsuke (disciplina)**: Sustentação dos quatro “S” anteriores. Ajuda a providenciar um aumento na produtividade dos trabalhadores e qualidade dos produtos, evitando, também, a sinistralidade laboral (Randhawa e Ahuja 2017), (Osada 1991).

⁵ “Limpeza” refere-se à conotação relacionada com a pureza de algo.

2.3.4 Kaizen

Kaizen (cuja grafia em japonês está representada na Figura 9) é mais uma filosofia inserida no pensamento *Lean* – o termo japonês significa “melhoria contínua”. Refere-se à mentalidade dos trabalhadores de uma empresa relativamente à melhoria de processos inerentes ao seu trabalho. Enquanto que o pensamento *Lean* tem como objetivo principal remover os desperdícios, o **Kaizen** valoriza as melhorias contínuas. Apesar de serem objetivos distintos, ambos estão intrinsecamente relacionados (Ortiz 2010).

Esta filosofia promove uma atitude perfeccionista, sendo que se pretende alcançar, idealmente, zero falhas nos processos inerentes ao trabalho (Macpherson et al. 2015).

Outro termo introduzido juntamente com esta filosofia é “*gemba*”. De acordo com Macpherson et al. (2015):

“Genba (ou gemba) refere-se ao local onde algo, efetivamente, acontece. [...] É o local que acresce valor, como uma área de produção ou um workshop. [...] Inclui tanto o contexto como a ocorrência de eventos; é o local onde os acontecimentos se dão, onde as experiências se obtêm, onde o conhecimento é criado e partilhado e [...] onde o intrínseco se torna explícito e o intangível se torna tangível” (Macpherson et al. 2015)

Neste contexto, o *Gemba* é considerado o ponto crucial e holístico no pensamento *Kaizen*. É, também, utilizado o termo “*Gemba walk*”, que se refere a um “passeio” pelo local “onde tudo acontece” – algo que é considerado, neste contexto, a fonte essencial de conhecimento.


The image shows the Japanese character '改' (kaizen), which means 'change' or 'improvement'. It is a large, bold, black character with a traditional calligraphic style.The image shows the Japanese character '善' (shin), which means 'virtue' or 'goodness'. It is a large, bold, black character with a traditional calligraphic style.

Figura 9 – O termo "Kaizen" no alfabeto japonês – a palavra de cima significa “mudança” e a de baixo “virtude” – o conjunto significa “mudança para melhor”

2.3.5 Single Minute Exchange of Die (SMED)

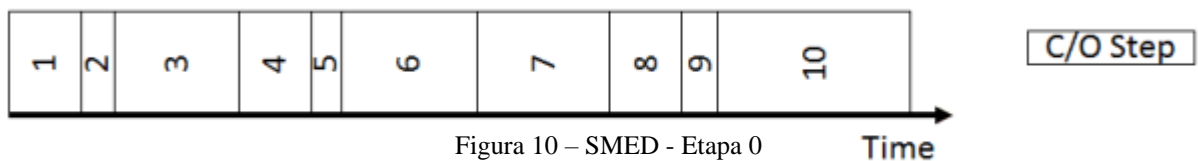
Single Minute Exchange of Die (ou **SMED**) é, mais do que uma metodologia, um objetivo para qualquer tipo de processo. Aponta especialmente para a redução de tempos de *set-up* de uma máquina, isto é, o tempo necessário para iniciar um determinado processo num determinado equipamento – por exemplo, a mudança de um cortante ou o aperto de um molde, entre outros. Estes valores são tanto mais relevantes quanto maior for a variedade de produtos e, por consequência, a necessidade de alterar ferramentas/programas nos equipamentos (bin Che Ani e Bin Shafei 2014).

Para apresentar, com clareza, esta metodologia, é necessário definir as noções de **tarefa interna** e **tarefa externa**:

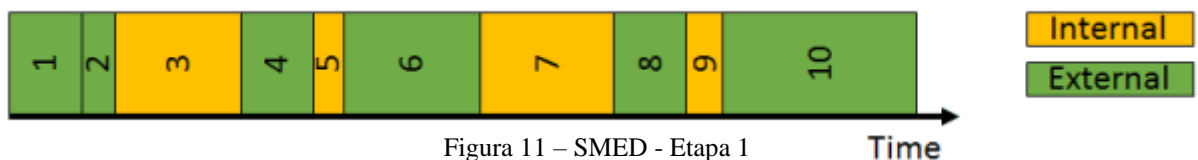
- **Tarefa interna** é aquela que só pode ser realizada com a máquina parada, em *standby* – trocar cavidades, abrir a aplicação que permite a utilização da máquina, troca de ferramenta(s) da máquina, entre outros;
- **Tarefa externa** é aquela que pode ser realizada com a máquina a produzir – transporte das cavidades de ou para a máquina, transporte e organização de componentes nos bordos de linha, entre outros.

Tendo estes conceitos bem definidos, pode, então, apresentar-se a metodologia SMED:

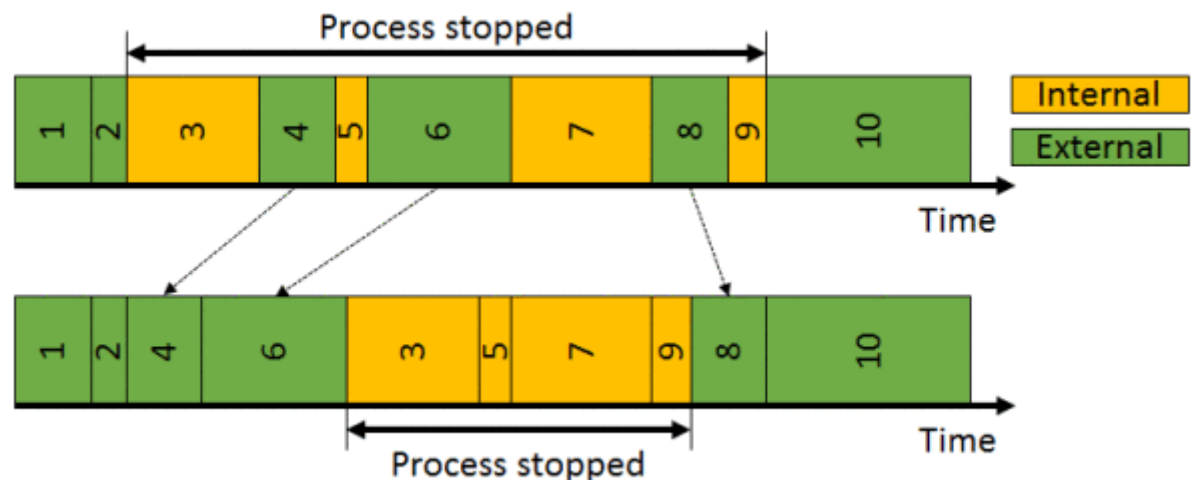
Etapa 0: Indistinção entre tarefas internas e externas – apenas se têm uma medição do tempo de *set-up*, como é mostrado na Figura 10;



Etapa 1: Identificação e separação das tarefas internas e externas, tal como na Figura 11;



Etapa 2: Conversão de operações internas para externas e agregação das tarefas internas (Figura 12) – para que seja possível reduzir o tempo de *set-up*;



Etapa 3: Redução e simplificação das tarefas, tanto internas (Figura 13) como externas (Figura 14).

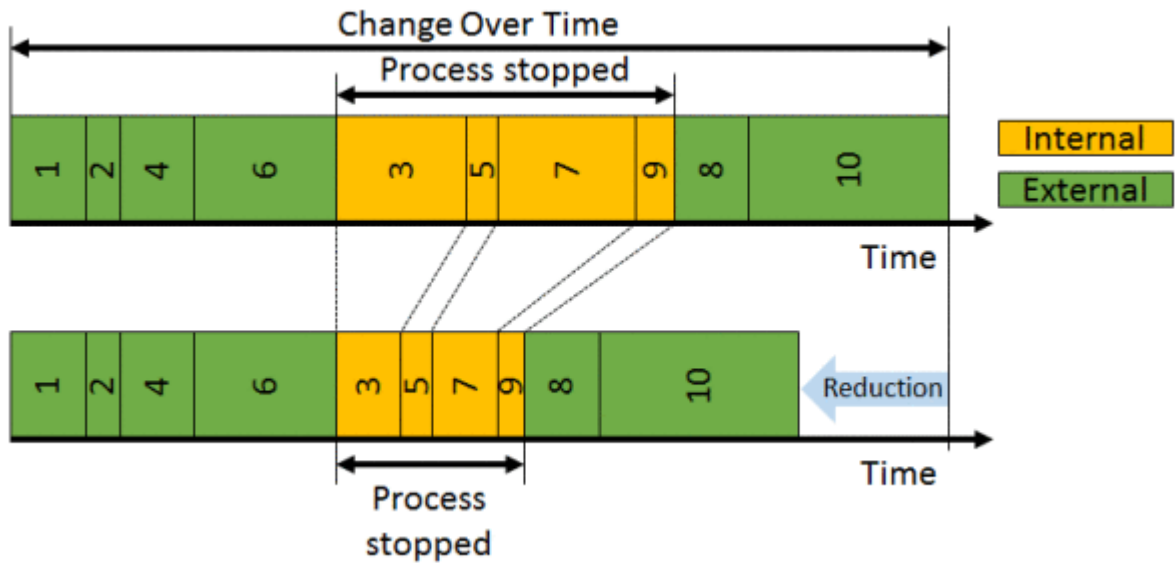


Figura 13 – SMED - Etapa 3a

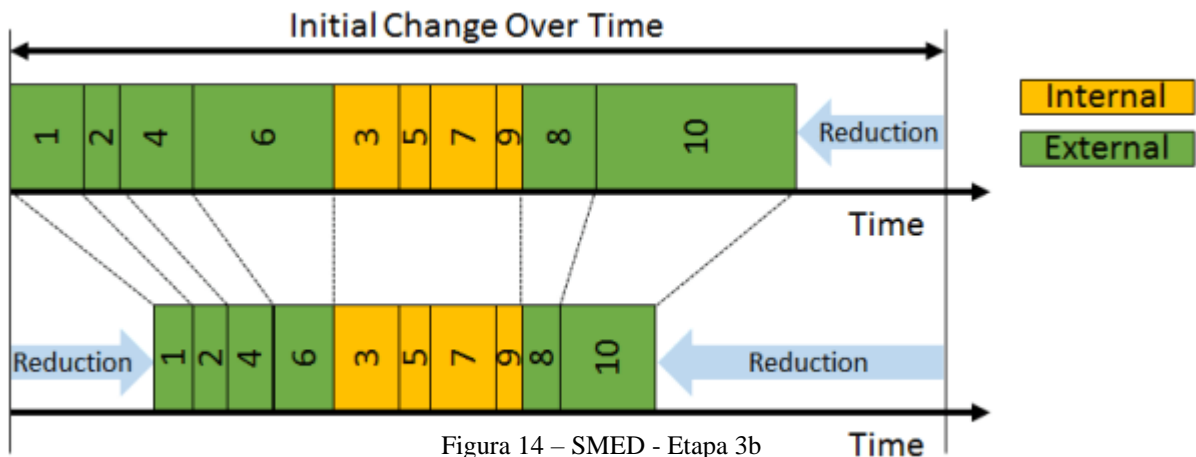


Figura 14 – SMED - Etapa 3b

Etapa 4: Tal como o quarto e o quinto “S” da metodologia 5S, é importante padronizar os processos e disciplinar os trabalhadores para os cumprir, sendo que a maior parte, se não totalidade, dos processos externos, são de origem humana.

É possível conceber ferramentas de apoio como, por exemplo, esquemas que possibilitem a identificação e distinção entre tarefas internas e externas, como se pode verificar na Figura 15 (McIntosh et al. 2000).

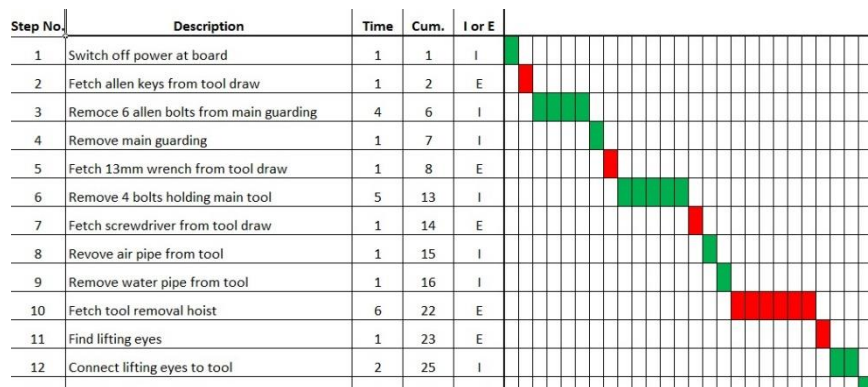


Figura 15 – Esquema para identificação e distinção entre tarefas internas e externas

2.3.6 Gestão Visual

A **gestão visual** é uma metodologia que, apesar de subtil, poderá, quando bem utilizada, produzir excelentes resultados. Segundo Steenkamp et al. (2017):

Gestão Visual é um sistema de gestão que ambiciona melhorias na performance empresarial através de estímulos visuais. Estes estímulos visuais transparecem informação importante da empresa evidentemente, ajudando a transmitir informação relevante e de simples compreensão [...].
(Steenkamp, Hagedorn-Hansen, e Oosthuizen 2017)

Esta ferramenta baseia-se na transparência dos processos – por exemplo, um caso comum é o de ecrãs que, automaticamente, recolhem dados dos processos de uma determinada linha de produção e, com base neles, apresentam valores de performance, tal como o OEE (Overall Equipment Effectiveness).



Figura 16 – Exemplo de gestão visual com valores da OEE

$$OEE = Disponibilidade \times Performance \times Qualidade \quad (2.1)$$

O primeiro termo representa a razão entre os tempos efetivo e planeado de operação, o segundo entre os tempos de ciclo ideal e real e o terceiro entre peças OK e o número total de peças.

2.3.7 Diagrama de Pareto e a regra 80-20

Vilfredo Federico Damaso Pareto (1848-1923) foi um sociólogo, economista e filósofo que estudou a distribuição de salários da população do seu país e, em 1906, criou uma fórmula matemática que descrevia a distribuição irregular/anómala de riqueza do país – e observou que **20%** das pessoas detinham **80%** da riqueza italiana. Analogamente, concluiu que **80% dos problemas provêm de 20% das causas** (Pareto 1906).

Para fazer uma análise de Pareto deve ser observada a seguinte metodologia:

1. Definir o problema a analisar;
2. Categorizar/discriminar as causas do problema;
3. Escolher dados a recolher, como frequência da ocorrência ou o seu custo;
4. Recolher dados escolhidos;
5. Ordenar as categorias por frequência relativa;
6. Gerar um gráfico com frequências relativas cumulativas.

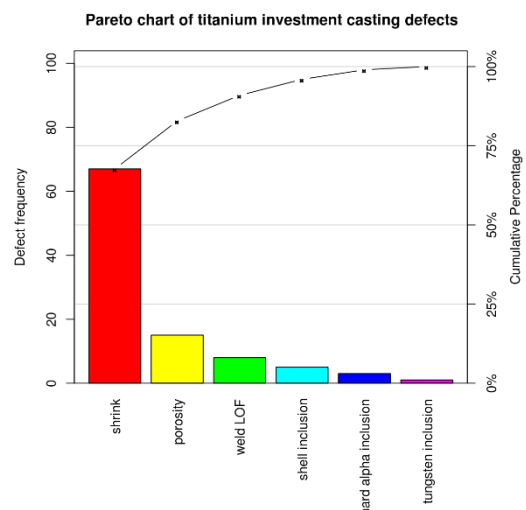


Figura 17 – Exemplo de um diagrama de Pareto

2.3.8 Design de layouts

Foi definido, no subcapítulo 2.3.1, o conceito de valor. No âmbito de design de *layouts*, é importante ter ambas as noções de **processo** e de **(fluxo de) valor**, sendo que se pretende eliminar todas as operações de valor não acrescido.

LAYOUTS DE LINHAS DE PRODUÇÃO

Ao conceber o *layout* de uma linha de produção, é importante tentar alcançar o estado de *one-piece flow*. Este termo refere-se à simultaneidade de entrada e saída do produto de cada estação de uma linha de produção e, conseqüentemente, da totalidade da linha. Para que isto aconteça, é necessário que os **tempos de ciclo** de cada estação sejam idênticos. Esta situação é tanto mais difícil de alcançar quanta maior for a complexidade dos processos da linha – daí a implementação de *buffers* para acomodar o *work in progress (WIP)* entre estações.

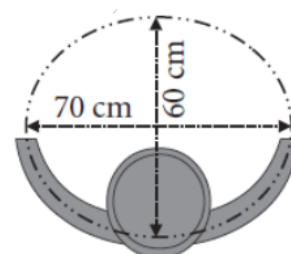


Figura 18 – Área de valor acrescido de um operador

Os **tempos de ciclo**, por sua vez, devem ser ajustados em função do *takt time* existente. Segundo Coimbra (2013):

Takt time de um produto representa a razão entre o tempo total de trabalho da linha de produção e a quantidade requerida, ambos por unidade de tempo (por norma, utiliza-se um dia). (Coimbra 2013)

Conclui-se, com estas informações, que a quantidade ideal de **WIP** será igual ao número de estações equilibradas – o que, em teoria, eliminaria a necessidade de bordos de linha. Se uma linha for composta por 20 estações, idealmente circulariam, a qualquer momento, 20 produtos em WIP.

Distinguem-se quatro tipos de layout:

LAYOUT POR PRODUTO

O *layout* por produto foi o tipo de *layout* utilizado nos casos abordados no âmbito do presente projeto. Neste caso, todos os equipamentos de uma linha de produção estão organizados em função da sequência de operações do produto (ou gama de produtos). Com esta configuração, apenas uma pequena gama de produtos é, na maior parte dos casos, produzida, de modo a justificar este *layout*.

Dentro deste tipo de layout, existe uma possibilidade de configuração bastante utilizada, pela sua elevada conveniência: o layout em **células de produção**. As suas vantagens incluem:

- Melhor gestão do espaço;
- Menor ocupação do espaço, a longo prazo;
- Comunicação mais eficaz entre operadores;
- Entregajuda dos operadores;
- Maior robustez para falhas nos equipamentos;
- Redução da distância percorrida pelos materiais e/ou produtos;

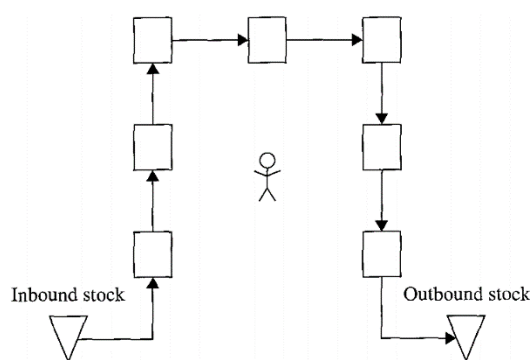


Figura 19 – O exemplo de uma célula de produção – evidencia-se a forma em U

- Favorecimento de um fluxo *just-in-time* (Bazargan-Lari 1999), (Coimbra 2013).

OUTROS TIPOS DE LAYOUT

Layout por processo – neste caso, os equipamentos não são organizados em função da sequência de operações, mas sim da natureza destas. Utiliza-se, por norma, para produtos de baixo volume de produção não-repetitivos.

Layout de posição fixa – utiliza-se quando existe um componente de dimensões elevadas, obrigando os equipamentos necessários a ir ao encontro deste.

BORDOS DE LINHA

Bordo de linha refere-se a todo o tipo de soluções de armazenamento de componentes/produtos ao longo de uma linha de produção.

Para que um bordo de linha esteja bem concebido, deve:

- Minimizar o movimento de *picking* dos operadores;
- Minimizar o movimento dos trabalhadores que abastecem a linha;
- Praticamente eliminar o tempo necessário para mudar os componentes de um produto para outro;
- Tornar o abastecimento intuitivo e instantâneo (Coimbra 2013).

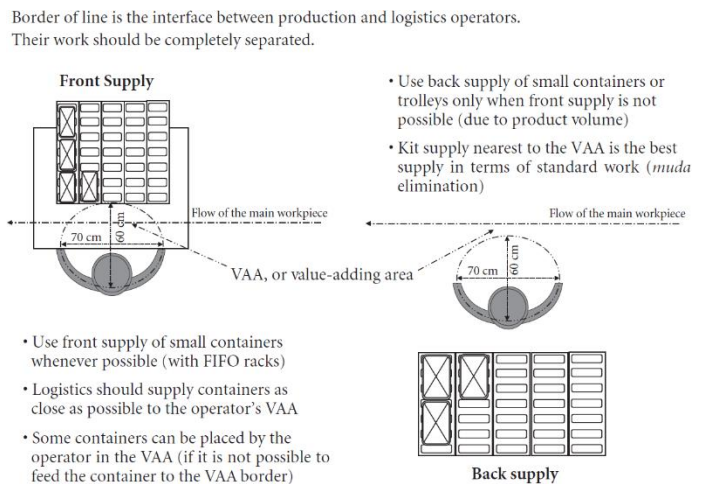


Figura 20 – Tipos de abastecimento para BOLs

2.4 Six Sigma (6σ)

Six sigma (6σ) é, uma filosofia paralela ao *Lean Manufacturing*, com um objetivo distinto, mas compatível com o desta (visto pelo prisma de gestão da qualidade). Segundo Antony (2002):

“*Six sigma é uma estratégia de melhoria de performance empresarial cujo objetivo é reduzir o número de erros/defeitos – a um valor tão baixo como o de 3,4 ocorrências por um milhão de oportunidades*” (Antony 2002)

O valor de $\frac{3,4 \text{ ocorrências}}{1000000 \text{ oportunidades}}$ deve-se ao facto de 6σ se referir ao sêxtuplo do valor do desvio padrão de uma distribuição normal.

Esta metodologia foi criada pela Motorola nos anos 90, e defende a tentativa de alcançar uma produção cuja razão entre o número de produtos defeituosos e o total de produtos é de cerca de 0,00034% – valor relativo à probabilidade de, numa distribuição normal, um valor se encontrar entre $x = -6 * \sigma$ e $x = 6 * \sigma$, sendo σ o valor do desvio padrão da distribuição⁶.

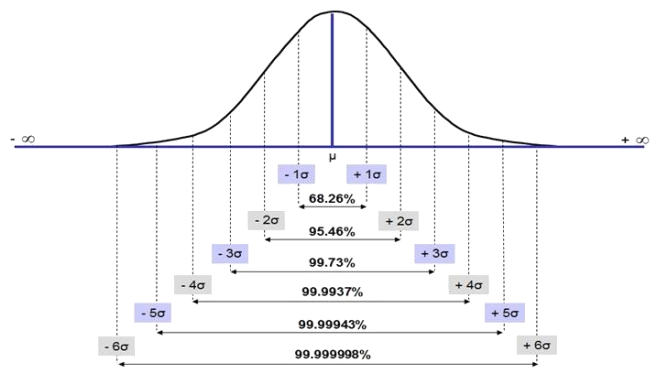


Figura 21 – Representação gráfica de *Six Sigma*

Tabela 1 – Níveis *Sigma* e respetivos valores

Nível Sigma	DPMO	Percentagem de peças OK
6	3,4	99,99966%
5	230	99,977%
4	6.210	99,38%
3	66.800	93,32%
2	308.000	69,15%
1	690.000	30,85%

Para alcançar este valor, a filosofia 6σ propõe algumas metodologias:

DMAIC: um método utilizado para aperfeiçoar processos empresariais em que a sigla é um acrónimo de:

- “**Define** the problem and the project goals” – Definir o problema e os objetivos do projeto;
- “**Measure** in detail the various aspects of the current process” – Dimensionar, ao detalhe, os variados aspetos do processo atual;
- “**Analyse** data to, among other things, find the root defects in a process” – Analisar dados para encontrar a(s) origem(ns) dos defeitos num processo;
- “**Improve** the process” – Melhorar o processo;
- “**Control** how the process is done in the future” – Controlar como o processo é realizado no futuro. (De Feo, Barnard, e Institute 2003)

⁶ Na realidade, o valor é correspondente a $4,5 * \sigma$ e não $6 * \sigma$ – a Motorola determinou, estatisticamente, utilizando dados recolhidos ao longo de vários anos, uma variação intitulada de variação média dinâmica de longo prazo; esta é igual, tipicamente, a 1,5 – que, somados ao valor de σ , representam o referido $1,5+4,5=6(\sigma)$

Um outro método utilizado para a elaboração de novos processos, produtos ou serviços consiste no **DMADV** em que a sigla representa:

- “*Define the project goals*” – Definir os objetivos do projeto;
- “*Measure critical components of the process and the product capabilities*” – Dimensionar componentes críticos do processo e as capacidades do produto;
- “*Analyse the data and develop various designs for the process, eventually picking the best one*” – Analisar os dados e desenvolver vários *designs* para o projeto, escolhendo, eventualmente, o melhor;
- “*Design the test details of the process*” – Conceber os parâmetros de teste do processo;
- “*Verify the design by running simulations and a pilot program, and then handing over the process to the client*” – Verificar e aprovar o *design*, utilizando simulações e um programa-piloto⁷, para entregar, por fim, o processo ao cliente.

Existem, também, outras ferramentas 6σ , como os **cinco porquês**, a **Critical to Quality (CTQ) trees**, as **análises da causa raiz**, entre vários outros, que não serão abordados ao detalhe.

2.5 Teoria das Restrições

A **Teoria das restrições** (ou *Theory of Constraints – TOC*) é uma metodologia cujo objetivo fundamental é elevar os lucros de uma empresa. Esta parte do princípio que **todas as organizações têm pelo menos uma restrição** (Dettmer 1997).

Neste contexto, é importante definir o termo **gargalo** (ou, em inglês, *bottleneck*): é um processo ou recurso cuja capacidade limitada constitui a restrição do sistema – é o que impede a produtividade do sistema de aumentar (o “elo mais fraco”).

Esta teoria tem como base três ferramentas:

- *The Five Focusing Steps* (os cinco passos para foco);
- *The Thinking Process* (o processo de pensamento);
- *Throughput Accounting* (Contabilidade de vendas) – não será abordado pelo facto de ter menor importância para o projeto abordado.

⁷ Estudo de fiabilidade, experimentando em pequena escala para antever os resultados na grande escala

THE FIVE FOCUSING STEPS

Esta ferramenta representa um processo cíclico composto por cinco passos, cujo objetivo é eliminar gradualmente os **gargalos** de um sistema. O ciclo é o seguinte:



Figura 22 – Ciclo dos "Five Focusing Steps"

1. Identificação – identificar o gargalo atual;
2. Exploração – investir em melhorias rápidas para elevar a capacidade do gargalo, usando recursos existentes;
3. Subordinação – rever todos os outros processos ou atividades de modo a garantir que suportam as necessidades do gargalo;
4. Eliminação – tomar quaisquer ações necessárias de modo a eliminar o gargalo⁸ – este passo apenas se toma se os anteriores não forem suficientemente bem-sucedidos. Pode envolver alterações de grande escala;
5. Repetição – repetir os passos anteriores e não permitir que a inércia seja a próxima restrição (Gupta e Boyd 2008), (Rahman 2002).

Esta mitigação gradual dos gargalos permite diminuir progressivamente os tempos de

ciclo de um qualquer processo (Mabin e Balderstone 2003).

THE THINKING PROCESS

O *Thinking Process*, método associado à teoria das restrições, é utilizado essencialmente para sistemas mais complexos com várias interdependências. Estes processos são utilizados para responder às três perguntas seguintes, essenciais para a teoria das restrições:

- O que precisa de ser alterado?
- Deve ser alterado para o quê?
- Que ações causarão a alteração?

Alguns dos processos existentes para responder às perguntas acima, para cada um dos problemas existentes, são os seguintes:

- Árvore da situação atual – diagrama que representa o estado atual, com os sintomas do problema em questão e respetivas causas, até alcançar a causa-raiz;
- Árvore da nuvem evaporante – diagrama que ajuda a identificar as alterações que poderão eliminar os sintomas. É útil em situações com várias abordagens possíveis para resolver o problema, e estabelece a ligação entre as árvores da situação atual e da realidade futura;
- Árvore da realidade futura – diagrama que representa o estado futuro, resultante das alterações a implementar para eliminar os sintomas;
- Árvore de estratégia – diagrama que descreve um plano de implementação para alcançar a realidade futura.

⁸ Na verdade, o gargalo nunca é eliminado – apenas alterna entre processos.

3 A criação de um novo departamento de pré-séries - a situação inicial

A secção de pré-séries da empresa é responsável pela encomenda, pelos processos burocráticos e por todos os ajustes necessários a realizar nos equipamentos de uma linha de montagem, antes de esta entrar em produção em série. O seu nome deve-se ao facto de as funções realizadas neste departamento serem não só anteriores (pré) à produção em série por parte de uma linha, mas também necessárias para que tal fase seja alcançada. Posteriormente a este tratamento, os equipamentos que compõem a linha são enviados para uma das subsidiárias do grupo Preh (ou pode permanecer na Preh Portugal, mudando unicamente de zona), para entrar em produção em série.

Em setembro de 2017, o departamento de pré-séries da Preh Portugal foi mudado para uma nova infraestrutura. A necessidade para esta alteração surgiu pelo facto de o antigo espaço dedicado a pré-séries (~150 m²) não ser suficiente para acomodar as necessidades crescentes desta secção da empresa. À medida que o aumento da procura por parte dos clientes finais se evidencia, também esta secção o deve fazer, para que seja possível realizar estas funções num espaço separado daquele onde se realiza a produção em série.

No entanto, esta mudança realizou-se para uma infraestrutura que não está fisicamente agregada ao edifício principal – mas sim a cerca de 350 m deste. Esta atenuante acarreta a necessidade de ajuste de vários padrões (ou standards) da empresa, assim como da **documentação** e do seu **fluxo** entre estas duas instalações. Adicionalmente, é necessário ter em conta que o **layout** do pavilhão está em constante metamorfose, visto que os equipamentos não têm permanência neste departamento – quando os ajustes estão terminados, eles são expedidos para o seu local final.

Apresentam-se, de seguida, as situações iniciais, nestes contextos.

3.1 O *layout* das linhas de produção do novo departamento

Em março de 2018, o novo departamento encontrava-se numa fase embrionária. Estavam delimitadas unicamente as áreas de **produção**, do **armazém**, entre outras no piso inferior. Apenas no piso superior se encontrava, desde aí, a totalidade da área (de escritórios) definida. Ao longo do tempo, como seria de esperar, este *layout* foi sofrendo uma metamorfose, devido à entrada e saída de equipamentos.

O *layout* da Figura 44 (no ANEXO A:) representa o estado atual, já com **sete linhas de produção**: a **PJ1**, a **UIF** (a laranja escuro), a **TLM** (a azul), a **AA38** (cujos equipamentos ainda não foram entregues na totalidade), a **SmartDisplay Portugal** (a amarelo), a **SmartDisplay China** (a vermelho) e a **SmartDisplay México** (a rosa). Como é possível observar, existem algumas linhas cujo *layout* pode ser melhorado, do ponto de vista do operador, do espaço utilizado, entre outros critérios, de uma forma ou de outra. As melhorias propostas serão apresentadas no capítulo 4.

A importância de ajustar o *layout* das linhas de produção, apesar de virem a ser expedidas para outras instalações, advém do facto de a função das secções de construção de equipamentos e pré-séries incluir a responsabilidade de garantir que o *layout* é o mais eficiente possível. Se o *layout* for ajustado desde logo no departamento, será mais fácil detetar problemas cuja origem possa ser um *layout* mal pensado. Para tal, é necessário que haja, também uma sintonia permanente entre o ***layout* esperado no local para onde a linha será expedita** e o ***layout* neste departamento** – devem ser, sempre que possível, idênticos.

Os problemas principais com cada uma das linhas são apresentados nos subcapítulos seguintes.

3.1.1 PJ1

A linha PJ1 produz dois produtos diferentes: **F** e **R**.

O produto **F** atravessa, nesta ordem, os equipamentos:

1. OP10 Front;
2. OP20;
3. OP25;
4. OP30;
5. EOL1;
6. Armário de aquecimento (ainda não utilizado no departamento);
7. EOL2.

O processo é composto por quatro estações semiautomáticas, as OP, e dois testes no final da linha, os EOL.

O produto **R**, por sua vez, segue um processo menos complexo:

1. OP10 R
2. EOL1
3. Armário de aquecimento;
4. EOL2

Neste caso, existem uma estação semiautomática e dois testes, partilhados com o produto F.

Com a presente organização, foram identificados diversos problemas, tanto no departamento como no destino final, que são enumerados de seguida.

Problemas relativos ao departamento:

- Não está a ser utilizado um layout baseado em células de produção;
- A ordem de estações não é a mais correta – o fluxo dos produtos será inconsistente;
- A gestão do espaço pode ser melhorada.

Problemas relativos ao destino final:

- A distância entre a OP10 R e o EOL1 é demasiado elevada;
- O fluxo do produto desde o EOL1 até ao EOL2 é desnecessariamente complexo e inconveniente;
- Pode ser feita uma melhor utilização do espaço, de modo a reduzir alguns espaços mortos.

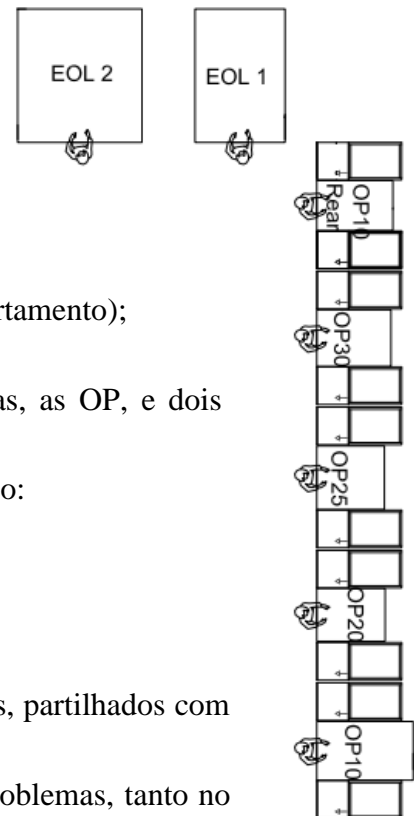


Figura 23 – Layout da linha PJ1 no dep. de pré-séries

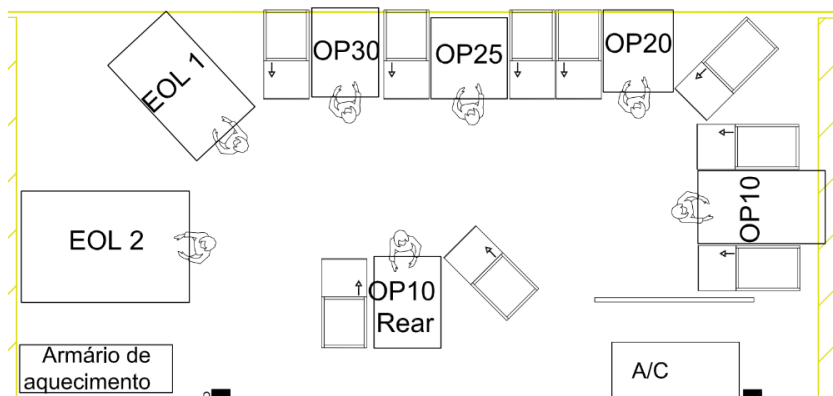


Figura 24 – Layout previsto para a linha PJ1 no destino final

3.1.2 AA38

A linha AA38 ainda não possui as especificações dos produtos bem definidos, embora seja já conhecido que será dedicada à produção de duas gamas de produtos: existem duas gamas principais: a KVA (ou automática) e a manual.

O produto KVA segue o processo seguinte:

1. OP10 KVA;
2. OP20 KVA;
3. OP21 KVA;
4. OP40 KVA;
5. OP50 KVA;
6. OP100 KVA;
7. OP110 KVA;
8. OP120 KVA;
9. OP130 KVA;
10. OP140 KVA
11. OP145 KVA;
12. OP150 KVA;
13. OP165 KVA;
14. EOL.

Este processo é composto por treze estações semiautomáticas e um teste no final da linha.

O produto manual, por outro lado, segue o processo:

1. OP40;
2. OP60;
3. OP99;
4. OP100;
5. OP105;
6. OP110;
7. EOL.

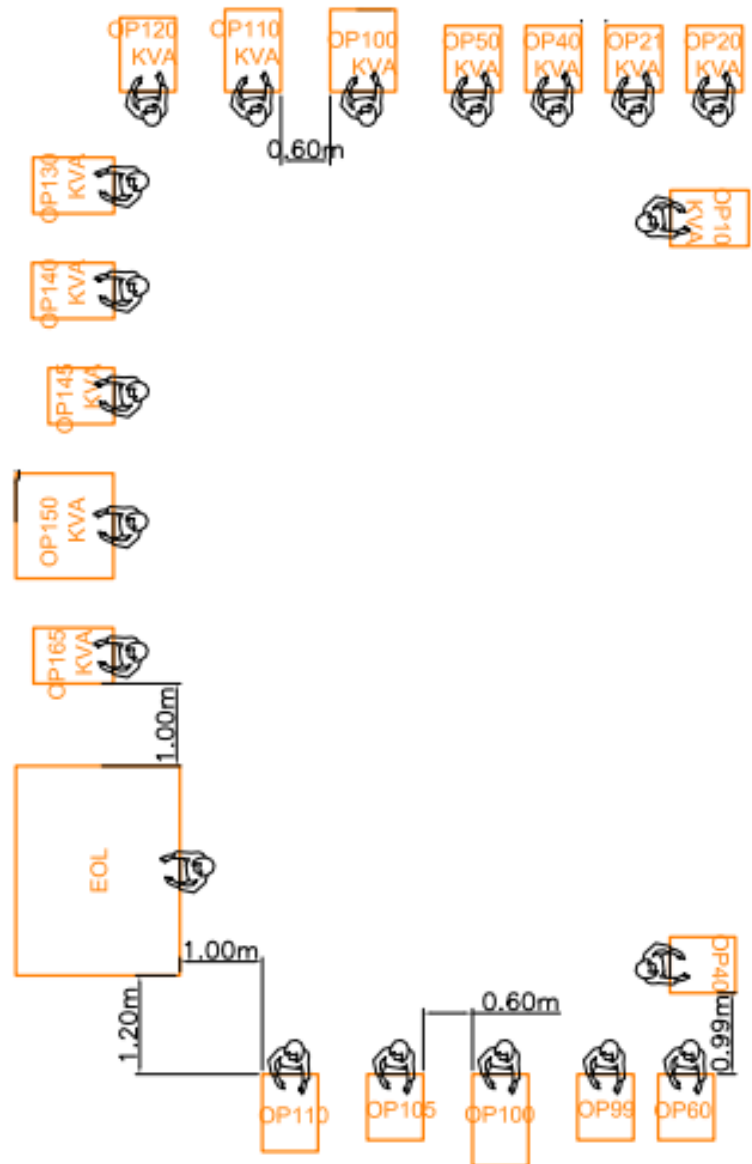


Figura 25 – Layout da linha AA38 no dep. de pré-séries

O processo manual é composto por seis estações semiautomáticas e o mesmo teste no final da linha.

Os problemas identificados são:

- Existe uma zona morta de elevadas dimensões no centro desta linha;
- Apesar de o *layout* estar em forma de U, não segue a lógica nem beneficia da totalidade das vantagens de uma célula de produção, visto que as estações estão demasiado afastadas umas das outras;
- Apesar de o fluxo de produtos estar bem definido, para o caso do processo que produz a versão manual, este não se realiza da direita para a esquerda do operador, mas sim o oposto, não fazendo o melhor uso da área de valor acrescentado deste.

3.1.3 SmartDisplay Portugal, China e México

Atualmente existem três linhas SmartDisplay, sendo que duas são exatamente iguais, a China e México. A linha SmartDisplay Portugal é menos complexa.

Nas primeiras duas linhas, são produzidos dois produtos diferentes, os produtos F e L.

Para o caso do produto F, o processo é o seguinte:

1. OP10;
2. OP20;
3. OP25/30;
4. EOL.

No caso do produto L o processo é semelhante, sendo que apenas o equipamento OP10 é substituído pelo equipamento OP15 – de resto, tudo se mantém.

No caso da SmartDisplay Portugal, apenas se produz o produto F.

Relativamente às linhas China e México, foram identificados os seguintes problemas:

- O fluxo do produto realiza-se no sentido horário, quando o ideal seria o sentido anti-horário, de modo a maximizar a utilização da área de valor acrescentado do operador;
- Considerando uma célula de produção, o espaço utilizado pode ser reduzido, favorecendo uma melhor gestão deste.

A linha de SmartDisplay Portugal não apresenta problemas relevantes.

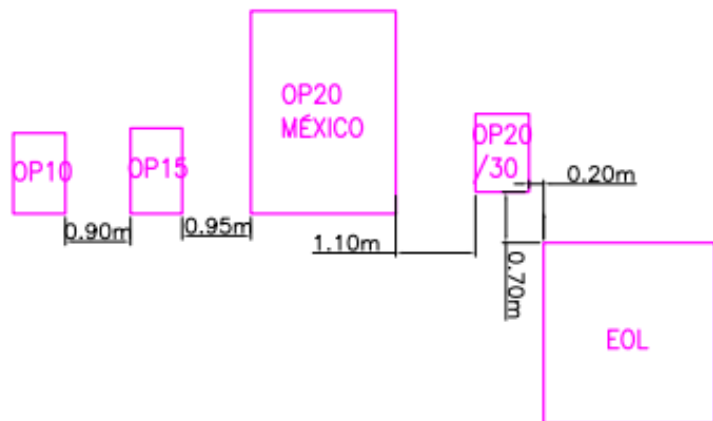


Figura 27 – Layout da linha SmartDisplay México no dep. de pré-séries



Figura 26 – Layout da linha SmartDisplay China no dep. de pré-séries

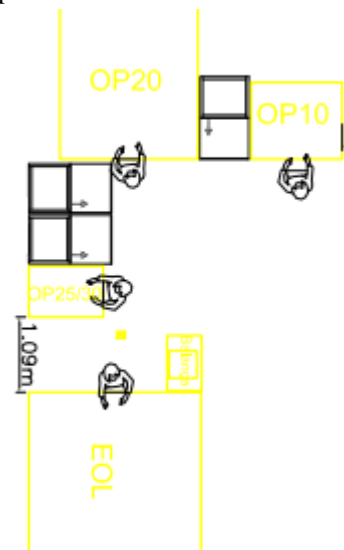


Figura 28 – Layout da linha SmartDisplay Portugal no dep. de pré-séries

3.2 A linha de montagem PJ1

A linha de montagem PJ11 iniciará a produção em série em 2019. Assim, para o próximo ano, o cliente pretende que a produção alcance 60.000 unidades/ano.

Para esse valor de produção procedeu-se ao cálculo do *takt time*, utilizando os valores apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 – Valores para o cálculo do *takt time* da linha PJ1

1	Número máximo de turnos/dia	2
2	Necessidades anuais do cliente (unidades)	60.000
3	Tempo disponível por turno (minutos)	480
4	Número de dias (úteis) por ano	250
5	Paragens (minutos/turno)	20
6	Limpeza (minutos/turno)	10

$$\begin{aligned}
 Takt\ time &= \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Necessidades do cliente}} = \frac{2 \times (480 - 20 - 10) \left[\frac{\text{minutos}}{\text{dia}} \right] \times 60 \left[\frac{s}{\text{minuto}} \right]}{\frac{60000 \left[\text{unidades} \right]}{250 \left[\text{dias} \right]}} \\
 &= \frac{2 \times 450 \times 60 \left[\frac{s}{\text{dia}} \right]}{240 \left[\frac{\text{unidades}}{\text{dia}} \right]} = 225 \left[\frac{s}{\text{unidade}} \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

Estima-se que o fator que representa a eficiência das linhas – OEE – na Preh, tem o valor de 85%, sendo que:

- 10% das perdas devem-se a faltas de disponibilidade (tempos de *set-up* e avarias);
- 5% das perdas devem-se a produtos que não cumprem os padrões de qualidade.

O CT⁹ da linha não deverá exceder:

$$CT_{\max} = 225 \times 85\% = 191,25 \left[\frac{s}{\text{unidade}} \right] \quad (2)$$

Neste momento, a maior parte das operações já estão associadas a alguma estação.

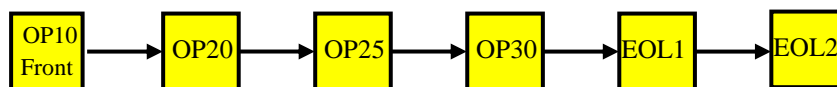


Figura 29 – Diagrama de precedências da linha de montagem do produto F (PJ1)



Figura 30 – Diagrama de precedências da linha de montagem do produto R (PJ1)

⁹ Tempo de ciclo (CT) define-se como o intervalo de tempo entre duas etapas iguais na produção de dois produtos seguidos, para cada equipamento ou máquina

Esta linha de montagem, contrariamente à SmartDisplay, encontra-se numa fase mais inicial, embrionária, em que os tempos de ciclo ainda não são um aspeto prioritário para ter em consideração. Como tal, não foram realizadas medições, para que a prioridade possa envolver tópicos como a ergonomia, a qualidade do produto final, entre outros.

Um tópico abordado de forma mais intrínseca nesta fase é a definição dos bordos de linha (BOL), isto é, a organização e distribuição dos componentes na área de valor acrescido do operador de cada equipamento.

Desta forma, apresentam-se, de seguida, os principais tópicos a melhorar nesta linha de montagem, discriminados por equipamento. Estes tópicos são apresentados associados às seguintes categorias: tempo de ciclo (CT), ergonomia/segurança do operador (ESO), qualidade final do produto (QFP) e esperança de vida do equipamento (EVE).

Tabela 3 – Problemas detetados na linha PJ1

Nº do tópico	Equipamento	Problema	Categorias associadas
1	OP10 Front OP20 OP30 OP10 Rear	Não se garante que o operador segue a sequência correta de aparafusamento, apesar de esta estar identificada na máscara	QFP
2	OP10 Front OP10 Rear	A pressão de calcamento do <i>loudspeaker</i> deve ser facilmente consultável e ajustável, caso esta se altere ao longo do tempo	EVE QFP
3	OP10 Front OP10 Rear	O <i>loudspeaker</i> deve ser sempre montado com a mesma orientação, e o equipamento não a restringe	QFP
4	OP10 Front	A sequência atual de operações obriga, a determinada altura, a que o operador segure o subconjunto do atuador sem necessidade	CT ESO EVE
5	OP20	O espaçador utilizado não é estável, e pode causar variações na distância entre o atuador e a <i>fixture plate</i>	QFP
6	OP20	Por vezes, o cabo do <i>loudspeaker</i> é esmagado pelos calcadores das molas	QFP
7	OP20 OP30	O guiamento dos <i>flat cables</i> é extremamente moroso, complicado e desconfortável	CT ESO
8	OP30	A aparafusadora tem um comportamento instável no guiamento do parafuso até à sua <i>mouthpiece</i>	ESO QFP
9	OP10 Rear	O guiamento correto dos parafusos não é possível, visto que existe uma colisão da camisa de aparafusamento com o <i>housing</i>	QFP
10	EOL1 EOL2	O encravamento do conjunto é inconsistente – este fica, ocasionalmente, incorretamente colocado	ESO EVE QFP
11	EOL2	Ocasionalmente, o equipamento não permite a remoção da peça no fim do ciclo, obrigando a um <i>reset</i> deste	CT EVE
12	Todos os equipamentos	Os bordos de linha nem sempre permitem um armazenamento organizado e facilmente manuseável dos componentes	CT ESO QFP

Este último tópico é não só o mais importante da lista como também o de resolução mais custosa e de longa espera. Para que a ergonomia de um operador, enquadrado numa determinada linha de montagem, seja maximizada, é indispensável a existência de **bordos de linha** adequados, que devem ser adaptados **ao operador, ao equipamento e ao componente** armazenado.

A solução utilizada inicialmente era a de um equipamento em perfil de alumínio, com três prateleiras ajustáveis em altura, avanço e inclinação, como está representado na Figura 31, que, na realidade, é um equipamento muito versátil; no entanto, sofre de múltiplas limitações a nível ergonómico, e é encarado apenas como uma solução temporária enquanto a definição final para os BOL não está definida e implementada.

Assim, foi dedicada especial atenção a este tópico, que culminou na solução descrita no subcapítulo 4.2.



Figura 31 – Frente e lateral de um bordo de linha genérico tipo "rack"

3.3 A linha de montagem SmartDisplay México

Esta linha iniciará a produção em série, tal como a PJ1, no próximo ano. Os valores previstos para 2019 são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores para o cálculo do *takt time* da linha SmartDisplay

1	Número máximo de turnos/dia	3
2	Necessidades anuais do cliente (unidades)	400.000
3	Tempo disponível por turno (minutos)	480
4	Número de dias (úteis) por ano	250
5	Paragens (minutos/turno)	20
6	Limpeza (minutos/turno)	10

$$\begin{aligned}
 Takt\ time &= \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Necessidades do cliente}} = \frac{3 \times (480 - 20 - 10) \left[\frac{\text{minutos}}{\text{dia}} \right] \times 60 \left[\frac{s}{\text{minuto}} \right]}{\frac{400000 \text{ [unidades]}}{250 \text{ [dias]}}} \\
 &= \frac{3 \times 450 \times 60 \left[\frac{s}{\text{dia}} \right]}{1600 \left[\frac{\text{unidades}}{\text{dia}} \right]} = 50,625 \left[\frac{s}{\text{unidade}} \right] \\
 CT_{\text{máx}} &= 50 \times 85\% \approx 43 \left[\frac{s}{\text{unidade}} \right]
 \end{aligned}$$

Neste momento, a maior parte das operações já estão associadas a alguma estação.

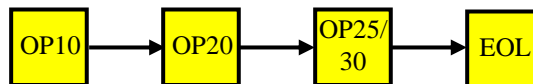


Figura 33 – Diagrama de precedências da linha de montagem do produto F (SmartDisplay)

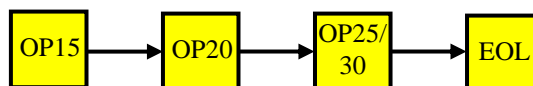


Figura 32 – Diagrama de precedências da linha de montagem do produto L (SmartDisplay)

Os CT_m^{10} e CT iniciais eram os seguintes:

Tabela 5 – Resumo dos tempos dos equipamentos da linha SmartDisplay

Workstation	CT_m (s)	Tempo despendido noutras tarefas (s)	CT (s)	Folga (s)
OP10	15	59	74	0
OP15	15	85	100	0
OP20 (WS 1)	15	13	90	0
OP20 (WS 2)	90	0		
OP20 (WS 3)	7	0		
OP25/30	35	16	51	0
EOL (WS 1)	43	8	51	0
EOL (WS 2)	41	0		
EOL (WS 3)	26	0		
EOL (WS 4)	19	0		

Como se pode observar, todos os tempos de ciclo dos equipamentos encontravam-se acima do objetivo. Assim, era necessária a implementação de melhorias, para alcançar o tempo de ciclo requerido.

De modo a possibilitar uma análise mais rigorosa e aprofundada dos ciclos e, assim, descobrir onde será melhor investir para reduzir os tempos de ciclo, apresentam-se, no ANEXO C:, tabelas que indicam, por equipamento, os tempos despendidos em cada tarefa.

Os tempos apresentados entre parênteses representam tarefas realizadas sem influência do equipamento – isto é, não fazem parte do CT_m .

Todas as inspeções visuais nestes equipamentos são realizadas com a ajuda de câmaras que permitem a deteção de determinados objetos em determinadas posições.

As operações realizadas na OP15 são idênticas às realizadas na OP10 – como tal, os tempos medidos são os mesmos, com a adição de duas operações que não são realizadas na OP10.

Como é possível verificar, nenhum equipamento cumpre, nesta fase, o tempo de ciclo imposto pelo *takt time*. Como tal, devem ser tomadas medidas com o objetivo de reduzir estes tempos de ciclo.

Como medida de melhoria e de acompanhamento contínuos, realiza-se, quando a linha de montagem está disponível no departamento de pré-séries, a criação de uma LOP (*list of open points*). Este documento, que é atualizado periodicamente, apresenta os pontos em aberto (problemas ou questões por resolver), quer sejam relativos ao CT, à organização da linha, ou até medidas de ergonomia, entre outros, de todos os equipamentos da linha de montagem.

A implementação das medidas referidas neste documento permite, como se poderá observar no subcapítulo 4.3, uma diminuição significativa do CT apresentado acima.

¹⁰ *Machine Cycle Time* é um KPI que representa o tempo que um produto demora a ser processado numa determinada estação. Quando somado com outros valores, como o *Move Time* ou o *Queue Time*, o valor resultante representa o **tempo de ciclo**.

3.4 Documentação e fluxo documental

Uma parte integrante da responsabilidade do departamento de pré-séries é a necessidade de requisitar a validação de orçamentos por parte da secção do *Controlling*¹¹ da empresa.

Sempre que o departamento de pré-séries recebe uma **ordem de compra (PO)**¹², deve enviar alguns dados desta ao *Controlling*, para que possa validar a ordem e desbloquear os fundos para utilizar no projeto em questão.

Para tal, realizava-se um processo cuja complexidade (do ponto de vista do dep. de pré-séries) era passível de ser reduzida:

1. Era recebida uma PO, alocada a um determinado projeto;
2. Registavam-se os dados da PO num documento cujo propósito era apenas o de consulta;
3. Para que essa ordem pudesse ser utilizada, enviavam-se (por e-mail) alguns dados dessa ordem para o departamento de *Controlling*:
 - a. Os dados associados à PO em si:
 - i. A data do pedido;
 - ii. O responsável pelo pedido;
 - iii. O número da ordem de compra;
 - iv. O nome do responsável pela ordem de compra.
 - b. Os dados do projeto:
 - i. O número do projeto;
 - ii. A descrição (breve) do projeto;
 - iii. O nome do cliente do projeto;
 - iv. A localização final da(s) linha(s) de produção do projeto.
 - c. Os dados do equipamento:
 - i. O nome do fornecedor do equipamento;
 - ii. O número do equipamento;
 - iii. A descrição (breve) do equipamento;
 - iv. A localização atual do equipamento.
 - d. O valor dos custos associados à ordem;
 - e. Outros dados:
 - i. A data limite para a utilização dos fundos;
 - ii. A subsidiária do grupo que criou a PO.
4. O dep. de *Controlling* recebia os dados relevantes da PO, e após processamento destes, se não houvesse qualquer conflito, desbloqueava os fundos em questão.

Este processo tornava-se, em alguns casos, desnecessariamente moroso e longo. Como tal, foi desenvolvida uma aplicação no formato de documento Excel (de extensão .xlsm) com utilização de macros, com os seguintes objetivos gerais:

- Uniformização dos passos 2 e 3, evitando, assim, a duplicação de passos necessários para os dois passos;
- Simplificação de todo o processo, para que este se torne mais intuitivo.

Então, de forma mais explícita, pretendia-se um documento que:

- Preenchesse automaticamente todos os campos cujos dados estivessem acessíveis à aplicação;

¹¹ Departamento responsável por, entre outros aspetos, controlar os orçamentos atribuídos a cada projeto.

¹² Orçamento que está associado a algum custo inserido num qualquer projeto. Por norma, tratam-se de custos associados a equipamentos integrantes da linha de montagem.

- Por exemplo, o número do projeto permite a obtenção de todos os outros dados necessários deste;
- Enviasse, automaticamente, o conjunto de PO a validar para o dep. de *Controlling*, agrupando-as por projeto – isto é, para a abertura simultânea de várias PO, são enviados tantos e-mails quantos projetos diferentes estiverem associados a essas mesmas PO.

4 Soluções e melhorias propostas

Ao longo deste capítulo, são apresentadas as melhorias propostas para cada um dos casos referidos no capítulo 3: o caso da linha AA38, da linha PJ1 e da linha SmartDisplay, assim como as respetivas consequências.

4.1 Melhorias no layout da linha AA38

O layout desta linha de montagem apresentava vários problemas, sendo que o maior seria, provavelmente, a sua má gestão de espaço ocupado, em que cerca de 55% deste correspondia a espaço morto, isto é, espaço não utilizado pela linha e que impossibilita a implementação de outras linhas de produção.

Esta nova proposta, cujo conceito foi criado com base nos problemas descritos, permite a colmatação das lacunas referidas no subcapítulo 3.1.2.

Com esta configuração, a linha de montagem beneficia de:

- Uma utilização do espaço bastante melhor, sendo que a área utilizada pelo layout sofreu uma redução de cerca de 53%, através da eliminação quase total da zona morta referida;
- Como consequência (parcialmente) do benefício anterior, a linha beneficia, agora, dos benefícios de uma linha em U, pelo facto de as duas variantes do produto, a KVA e a manual, estarem com esta configuração, e ambas permitem um fluxo bem definido desde a primeira estação até ao EOL;
- Agora, ambos os produtos seguem um fluxo da direita para a esquerda, o que maximiza a utilização da área de valor acrescentado de todos os operadores.

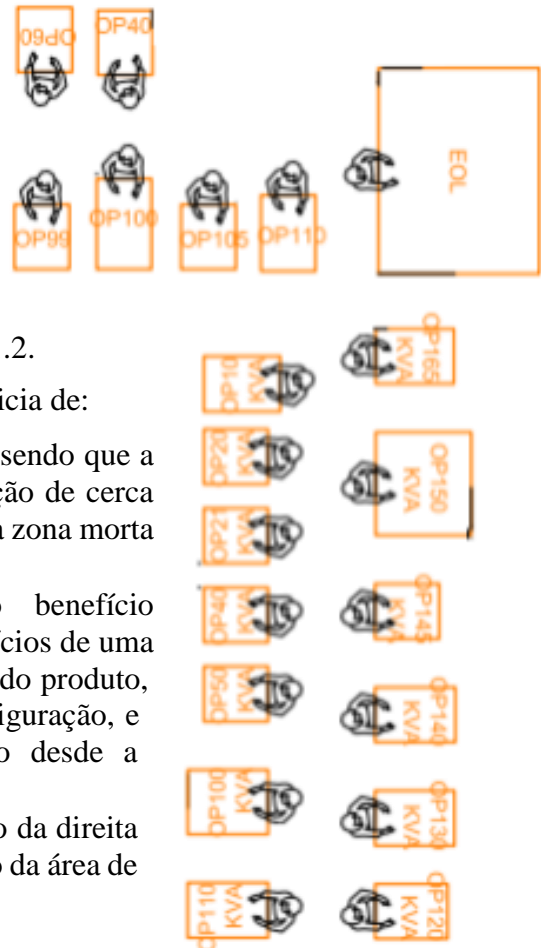


Figura 34 – Proposta para o layout da linha de montagem AA38

4.2 Melhorias na linha de montagem PJ1

A linha enquadrava-se, inicialmente, num layout em L, com demasiado espaçamento entre o primeiro e último equipamentos. Para além disso, a geometria do espaço ocupado não acondicionava, da melhor forma, a inserção de novas linhas.

Esta proposta permite a resolução destes problemas:

- O layout é, agora, em U, de tal modo que os equipamentos e respetivos operadores estão bastante mais próximos entre si;
- A ocupação do espaço tornou-se mais modular, tal como uma célula de produção, permitindo, mais facilmente, a introdução de novas linhas de montagem com a mesma geometria – em U

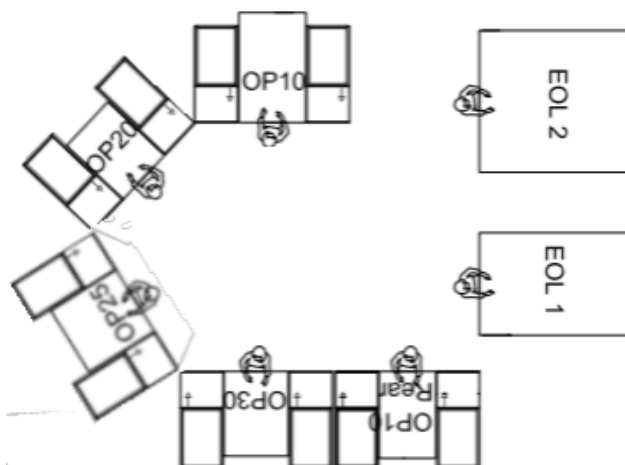


Figura 35 – Proposta para o layout da linha de montagem PJ1

Como foi abordado no subcapítulo 3.2, existem alguns problemas com esta linha de montagem, a vários níveis. Estas situações foram investigadas e debatidas, até que as propostas finais foram aceites e implementadas. Estas apresentam-se no ANEXO F:.

Definição de Bordos de Linha personalizados

Como consta no ANEXO C:, existe uma grande variedade de componentes, não apenas em número, mas também em volume, material e complexidade. Como tal, uma solução universal, como foi descrita anteriormente, não é suficiente para satisfazer as necessidades ergonómicas do operador. Assim, foram definidos bordos de linha personalizados para os componentes desta linha. Os critérios para a definição destes foram os seguintes:

De acordo com o fluxograma representado na Figura 36, foram decididos os tipos de armazenamento para cada um dos componentes, apresentados no ANEXO C:.

Esta configuração permite um armazenamento cómodo e ergonómico para o operador, sendo que cada componente está, preferencialmente, do lado mais próximo daquele onde será utilizado no equipamento. Posteriormente, a transição dos subconjuntos entre equipamentos será feita, muito provavelmente, utilizando *conveyors*.

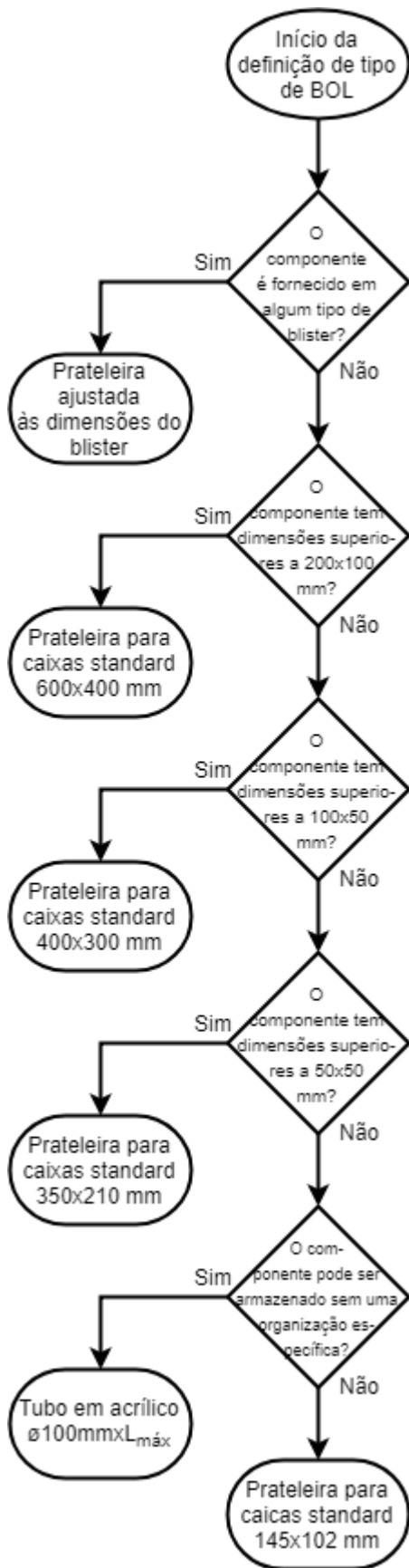


Figura 36 – Fluxograma utilizado na decisão de armazenamento para BOL

4.3 Melhorias na linha de montagem SmartDisplay México

O *layout* proposto para esta linha de produção segue o formato de uma célula de produção (em U), melhorando ligeiramente a utilização do espaço e possibilitando, agora, o fluxo do produto no sentido anti-horário, o que permite uma melhor utilização da área de valor acrescentado do operador.

Com a realização de séries de processo, foi possível detetar os principais problemas, assim como as possíveis medidas a aplicar a esta linha de montagem, que estão descritos no ANEXO E:. Estes problemas e respetivas melhorias apresentar-se-ão associados, tal como no caso da linha PJ1, às seguintes categorias: tempo de ciclo (CT), ergonomia/segurança do operador (ESO), qualidade final do produto (QFP) e esperança de vida do equipamento (EVE). A cada medida implementada está associada uma ou mais melhorias.

Para além destas melhorias, ao longo da série de processo, os operadores desenvolveram alguma experiência, o que permitiu melhorias gerais nos tempos de ciclo, para a maior parte dos processos manuais. Estas alterações tornam os tempos mais realistas, sendo que permitem uma aproximação da situação de produção em série, do ponto de vista do operador.

Apresentam-se, no ANEXO D:, os tempos de cada operação para cada equipamento, após a implementação das melhorias.



Figura 37 – Layout proposto para a linha SmartDisplay México

Tabela 6 – Resumo dos tempos dos equipamentos – após melhorias – da linha SmartDisplay

Workstation	CT _m (s)	Tempo despendido noutras tarefas (s)	CT (s)	Folga (s)
OP10	33	6	39	4
OP15	33	21	54	0
OP20 (WS 1)	15	8	41	2
OP20 (WS 2)	41	0		
OP20 (WS 3)	7	0		
OP25/30	28	9	37	6
EOL (WS 1)	33	6	41	2
EOL (WS 2)	41	0		
EOL (WS 3)	26	0		
EOL (WS 4)	19	0		

Como é possível observar na tabela acima, todos os CT reduziram o suficiente para cumprir os requisitos, exceto o CT do OP15. Para que esta situação se resolvesse, poderiam ser implementadas as seguintes soluções:

- Alteração do mecanismo de remoção das películas dos *foam pads*, de modo a simplificar este processo, o que traria, potencialmente, uma redução de 3s na operação 2;
- Redução, se possível, do tempo de movimento da gaveta (aumentando a velocidade do eixo que a comanda) ou do tempo de calcamento do subconjunto, reduzindo, potencialmente, 3s na operação 8;
- Implementação de bordos de linha personalizados em função dos componentes que simplifiquem o *picking* destes. A potencial redução seria de 1s nas operações 6, 7 e 8.1 e de 3s na operação 10

Ora, estas alterações adicionais, se todas as potenciais reduções se concretizassem, transformariam o CT do OP15 em 42s, valor que cumpre os requisitos.

Caso esta adaptação não fosse possível, a solução seria, em último caso, a duplicação deste equipamento, o que traria o seu CT para metade – 26s.

5 Protótipo Excel para as melhorias do fluxo documental

No âmbito dos problemas mencionados no subcapítulo 3.4, foi criado um ficheiro Excel (com macros, de extensão “.xlsm”), tendo como objetivo a minimização do tempo despendido com este processo de envio das ordens de compra. Assim, a aplicação em questão automatiza a maior parte dos processos que eram, anteriormente, realizados manualmente. O fluxograma da aplicação encontra-se no ANEXO H.

5.1 Funcionalidades principais

Atualmente, quando o utilizador abre o ficheiro Excel, depara-se com um ecrã como o representado na Figura 38.

Date			The file is protected		Total: 21		Send unsend P. O.s		Improvements & Problems		Flag P. O.s as sent		Project		See project details	
R. Day	R. Month	R. Year	Rec. Responsible PP	P. O. Nr.	P. O. Responsible NES	Proj. Nr.	Description (select a project and click the button above to see its details - opens a different excel file)	Customer	Final Location							
16	março	2018	Jorge	0001	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0002	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0003	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0004	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0005	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0006	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0007	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0008	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0009	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0010	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0011	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0012	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0013	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
16	março	2018	Jorge	0014	Gerhard	0003	Switch	AA	GER							
16	março	2018	Jorge	0015	Gerhard	0003	Switch	AA	GER							
21	março	2018	Jorge	0016	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
21	março	2018	Jorge	0017	Christian	0005	AA38	AA	ROM							
21	março	2018	Jorge	0018	Christian	0005	AA38	AA	ROM							

Equipment				Costs		Others			
Supplier	Eq. Nr.	Eq. Description	Center	Total Costs	Internal Software	Milestone (CW/Year)	Billing Forecast	Order Location	
LAC	0001	Descrição do equipamento 0001	At PP - 3000	Custo total 0001	- €	WW/YYYY	nov/18	GER	
LAC	0002	Descrição do equipamento 0002	At PP - 3000	Custo total 0002	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0003	Descrição do equipamento 0003	At PP - 3000	Custo total 0003	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0004	Descrição do equipamento 0004	At PP - 3000	Custo total 0004	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0005	Descrição do equipamento 0005	At PP - 3000	Custo total 0005	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0006	Descrição do equipamento 0006	At PP - 3000	Custo total 0006	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0007	Descrição do equipamento 0007	At PP - 3000	Custo total 0007	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0008	Descrição do equipamento 0008	At PP - 3000	Custo total 0008	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0009	Descrição do equipamento 0009	At PP - 3000	Custo total 0009	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0010	Descrição do equipamento 0010	At PP - 3000	Custo total 0010	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0011	Descrição do equipamento 0011	At PP - 3000	Custo total 0011	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0012	Descrição do equipamento 0012	At PP - 3000	Custo total 0012	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0013	Descrição do equipamento 0013	At PP - 3000	Custo total 0013	- €	48/2018	nov/18	GER	
LAC	0014	Descrição do equipamento 0014	Not yet at PP - 3000	Custo total 0014	- €	48/2018	out/18	ROM	
LAC	0015	Descrição do equipamento 0015	Not yet at PP - 3000	Custo total 0015	- €	48/2018	out/18	ROM	
Vários	0016	Descrição do equipamento 0016	At PP - 3000	Custo total 0016	- €	48/2018	nov/18	ROM	
LAC	0017	Descrição do equipamento 0017	At PP - 3000	Custo total 0017	- €	48/2018	nov/18	ROM	
LAC	0018	Descrição do equipamento 0018	At PP - 3000	Custo total 0018	- €	48/2018	nov/18	ROM	

L. E.					P. M.				
Date			Total: 21		Date			Total: 21	
L. E. Day	L. E. Month	L. E. Year	L. E. Responsible	L. E. Nr.	P. M. Day	P. M. Month	P. M. Year	P. M. Responsible	P. M. Nr.
22	maio	2018	Jéssica	0001	22	maio	2018	Sandra	0001
21	maio	2018	Jéssica	0002	21	maio	2018	Sandra	0002
21	maio	2018	Jéssica	0003	21	maio	2018	Sandra	0003
21	maio	2018	Jéssica	0004	21	maio	2018	Sandra	0004
21	maio	2018	Jéssica	0005	21	maio	2018	Sandra	0005
21	maio	2018	Jéssica	0006	21	maio	2018	Sandra	0006
21	maio	2018	Jéssica	0007	21	maio	2018	Sandra	0007
21	maio	2018	Jéssica	0008	21	maio	2018	Sandra	0008
21	maio	2018	Jéssica	0009	21	maio	2018	Sandra	0009
21	maio	2018	Jéssica	0010	21	maio	2018	Sandra	0010
21	maio	2018	Jéssica	0011	21	maio	2018	Sandra	0011
21	maio	2018	Jéssica	0012	21	maio	2018	Sandra	0012
21	maio	2018	Jéssica	0013	21	maio	2018	Sandra	0013
22	maio	2018	Jéssica	0014	22	maio	2018	Sandra	0014
22	maio	2018	Jéssica	0015	22	maio	2018	Sandra	0015
22	maio	2018	Jéssica	0016	22	maio	2018	Sandra	0016
22	maio	2018	Jéssica	0017	22	maio	2018	Sandra	0017
22	maio	2018	Jéssica	0018	22	maio	2018	Sandra	0018
22	maio	2018	Jéssica	0019	22	maio	2018	Sandra	0019
22	maio	2018	Jéssica	0020	22	maio	2018	Sandra	0020
22	maio	2018	Jéssica	0021	22	maio	2018	Sandra	0021

Figura 38 – Folha de cálculo principal para pedido de alocação de fundos

De seguida, o utilizador deve inserir os dados referidos no subcapítulo 3.4, tais como o nº da P. O., o nº do projeto, entre outros, como está descrito na Figura 39.

Date			The file is protected	Total:	21
R. Day	R. Month	R. Year	Rec. Responsible PP	P. O. Nr.	P. O. Responsible NES
21	março	2018	Jorge	0022	Gerhard
Proj. Nr.	Description (select a project and click the button above to see its details - opens a different excel file)			Customer	Final Location
0003	Switch			AA	GER
Total:		21			
Supplier	Eq. Nr.	Eq. Description		Center	
LAC	0022	Descrição do equipamento 0022		Not yet at PP - 3000	
Total Costs	Internal Software	Milestone (CW/Year)	Billing Forecast	Order Location	
Custo total 0022	- €	48/2018	out/18	ROM	

Figura 39 – Dados a preencher para realizar o pedido

Quando a inserção de dados tiver terminado, independentemente do nº de aberturas, o utilizador guarda o ficheiro. Se todos os dados de todas as ordens tiverem sido preenchidos, abre uma caixa de diálogo como a da Figura 40, possibilitando o envio automático dos e-mails relativos às ordens preenchidas. Os e-mails enviados estão discriminados por projeto, isto é, para cada projeto cujas P. O. foram adicionadas, é enviado um e-mail. Se forem adicionadas 20 P. O., agregadas, no total, a 5 projetos diferentes, serão enviados 5 e-mails, cada um deles com o conjunto de ordens associadas a um determinado projeto.



Figura 40 – Caixa de diálogo após gravação do ficheiro

Se a opção escolhida for “Send”, é aberta uma nova caixa de diálogo, que permite ao utilizador decidir, para cada projeto, se pretende anexar algum ficheiro ou conjunto de ficheiros (por norma, é anexado um ficheiro de formato “.pdf” por cada P. O.) e também se o e-mail em questão é urgente ou não, como pode ser verificado na Figura 41.



Figura 41 – Caixa de diálogo para os envios individuais de e-mail

5.2 Outras funcionalidades

Caso se pretenda enviar alguns pedidos mais tarde, ou seja, a opção “Don’t send” for selecionada, o botão “Send unsent P. O.” permite o envio dos pedidos que ficaram guardados, mas não foram enviados.

Por outro lado, caso exista necessidade de realizar um ajuste nas P. O. enviadas (por exemplo, se algum pedido tiver sido enviado manualmente), este deve ser inserido no Excel de qualquer das formas e, por fim, deve ser marcado como enviado, utilizando o botão “Flag P. O. as sent”.

Para consultar as características principais de um determinado projeto, basta utilizar o botão “See project details”, que abre um outro ficheiro Excel com os dados em questão.

Existe um outro botão que permite o bloqueio/desbloqueio do ficheiro, com a legenda “Protect/Unprotect Workbook”.

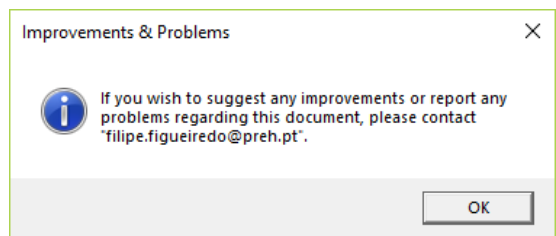


Figura 42 – Caixa de diálogo aberta pelo botão “Improvements & Problems”

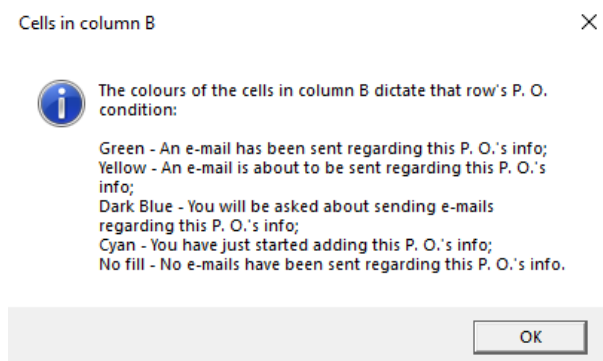


Figura 43 – Caixa de diálogo aberta pelo botão “What do the colours of the cells in column B mean?”

Por fim, os dois últimos botões têm um caráter meramente informativo – o botão cuja legenda é “Improvements & Problems” remete para o contacto que criou esta aplicação, disponibilizando o esclarecimento de dúvidas ou descrição de problemas, segundo se apresenta na Figura 42; por outro lado, o botão “What do the colours of the cells in column B mean?” apresenta uma explicação do significado do código de cores utilizado nesta coluna, relativamente a cada entrada da tabela, conforme está descrito na Figura 43.

6 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

A fase inicial de uma nova infraestrutura de um departamento de pré-séries acarretou, garantidamente, algumas dificuldades, quer a nível burocrático e de fluxo de informação, quer a nível de organização.

Estas dificuldades devem ser encaradas com uma postura crítica, podendo ter por base, a filosofia *Lean*. Esta pode ser implementada não só em contexto profissional, como no dia-a-dia, tal como em situações que possam parecer não ter a mínima relação com o domínio da engenharia.

A criação de listas de pontos em aberto foi um excelente método para preparar uma linha de montagem para a futura produção em série. Permitiu o constante acompanhamento do seu estado, garantindo que quaisquer problemas existentes eram registados e posteriormente eliminados, até que a lista se encontrasse, finalmente, vazia.

As melhorias no layout das linhas de montagem do departamento seriam de elevada importância, não só pelo facto de permitirem uma gestão mais organizada do espaço ocupado (ainda que isso implique, por vezes, um consumo mais elevado deste) mas também, para cada linha de montagem, uma gestão mais eficiente de fatores como o fluxo do produto, a minimização da movimentação de operadores, o incentivo ao espírito de entreajuda, entre outros. No futuro, é importante que estas melhorias sejam realizadas de forma contínua, tendo em conta que este departamento sofre uma constante metamorfose – as linhas de montagem estão em constante mudança.

Com o trabalho desenvolvido, não só foram alcançados os tempos de ciclo pretendidos para a linha de montagem SmartDisplay, como a sua ergonomia e qualidade do produto montado sofreram elevadas melhorias. O mesmo se pode dizer da linha PJ1, com a exceção de que os tempos de ciclo não foram tomados como indicadores de *performance* críticos. Esta última sofreu, também, grandes melhorias a nível de armazenamento de componentes na linha, o que tem grande influência, nomeadamente, na ergonomia e no CT da linha.

A aplicação desenvolvida permitiu um armazenamento dos dados das PO mais organizado e acessível, assim como a redução do tempo despendido com o processo de alocação de fundos para cerca de metade. O envio dos dados destas tornou-se, também, mais intuitivo.

O fluxo de informação é algo que possui vários sentidos por onde poderá evoluir. A elaboração da aplicação mencionada é apenas um ponto de partida para algo que poderia poupar bastante tempo despendido a preencher documentos, por parte dos colaboradores. Sugere-se a criação de outras aplicações com uma função semelhante a esta, associadas a processos tal como o embalamento e expedição de equipamentos, que necessita da confirmação do encerramento da faturação das ordens associadas, da criação de matrizes de embalamento, do pedido de guias de transporte, entre outros. Posteriormente à criação destas aplicações de carácter semelhante, seria ideal proceder à criação de uma interface que associasse todas estas, de modo a reduzir o tempo gasto pelo utilizador em processos facilmente padronizáveis.

Os processos desempenhados no departamento de pré-séries são de elevada variabilidade, pelo facto de existirem várias linhas de montagem a realizar estadia temporária. Desta forma, existem vários equipamentos diferentes a atravessar estas instalações, o que permite o desenvolvimento de competências transversais.

Todas estas alterações são alcançáveis, desde que a ideologia *Lean* de melhoria contínua esteja permanentemente em primeiro plano.

Referências

- Albino, V. e A. C. Garavelli. 1995. "A methodology for the vulnerability analysis of just-in-time production systems". Comunicação apresentada em 12th International Conference on Production Research, 16-20 Aug. 1993, em Netherlands.
- Antony, Jiju. 2002. "Design for six sigma: a breakthrough business improvement strategy for achieving competitive advantage". *Work Study* no. 51 (1):6-8. <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/00438020210415460>.
- Bazargan-Lari, Massoud. 1999. "Layout designs in cellular manufacturing". *European Journal of Operational Research* no. 112 (2):258-272. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221798001647>.
- bin Che Ani, M. N. e M. S. S. Bin Shafei. 2014. "The Effectiveness of the Single Minute Exchange of Die (SMED) Technique for the Productivity Improvement". *Applied Mechanics and Materials* no. 465-466:1144-8. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.465-466.1144>.
- Coimbra, Euclides. 2013. *Kaizen in logistics and supply chains*. McGraw Hill Professional.
- De Feo, J., W. Barnard e J. Institute. 2003. *Juran Institute's Six Sigma Breakthrough and Beyond: Quality Performance Breakthrough Methods*. Mcgraw-hill.
- De Mente, B. e R. De Neufville. 1994. *Japanese Etiquette & Ethics In Business*. McGraw-Hill Education.
- Dettmer, H William. 1997. *Goldratt's theory of constraints: a systems approach to continuous improvement*. ASQ Quality Press.
- Durkee, John. 2008. "Just what is 'lean manufacturing' anyway?". *Metal Finishing* no. 106 (12):44-46. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026057608803364>.
- Ford, H. e S. Crowther. 1922. *My Life and Work*. Doubleday, Page.
- Gupta, Mahesh C. e Lynn H. Boyd. 2008. "Theory of constraints: a theory for operations management". *International Journal of Operations & Production Management* no. 28 (10):991-1012. <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/01443570810903122>.
- Hicks, B. J. 2007. "Lean information management: Understanding and eliminating waste". *International Journal of Information Management* no. 27 (4):233-249. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401206001435>.
- Hopp, W.J. e M.L. Spearman. 2011. *Factory Physics: Third Edition*. Waveland Press.
- Liu, Q. e H. Yang. 2017. "Lean implementation through value stream mapping: A case study of a footwear manufacturer". Comunicação apresentada em 2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC). 28-30 May 2017.
- Mabin, Victoria J. e Steven J. Balderstone. 2003. "The performance of the theory of constraints methodology: Analysis and discussion of successful TOC applications". *International Journal of Operations & Production Management* no. 23 (6):568-595. <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/01443570310476636>.
- Macpherson, Wayne G., James C Lockhart, Heather Kavan e Anthony L. Iaquinto. 2015. "Kaizen: a Japanese philosophy and system for business excellence". *Journal of Business Strategy* no. 36 (5):3-9. <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/JBS-07-2014-0083>.

- McIntosh, R. I., S. J. Culley, A. R. Mileham e G. W. Owen. 2000. "A critical evaluation of Shingo's 'SMED' (Single Minute Exchange of Die) methodology". *International Journal of Production Research* no. 38 (11):2377-2395. <https://doi.org/10.1080/00207540050031823>.
- Ohno, Taiichi. 1988. *Toyota production system: beyond large-scale production*. crc Press.
- Ortiz, Chris. 2010. "Kaizen vs. Lean: Distinct but related". *Metal Finishing* no. 108 (1):50-51. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002605761080011X>.
- Osada, T. 1991. *The 5S's: five keys to a total quality environment*. Asian Productivity Organization.
- Pareto, Vilfredo. 1906. *Manuale di economia politica*. Vol. 13: Societa Editrice.
- Parry, G. C. e C. E. Turner. 2006. "Application of lean visual process management tools". *Production Planning & Control* no. 17 (1):77-86. <https://doi.org/10.1080/09537280500414991>.
- Rahman, Shams-ur. 2002. "The theory of constraints' thinking process approach to developing strategies in supply chains". *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* no. 32 (10):809-828.
- Randhawa, J. S. e I. S. Ahuja. 2017. "5S - a quality improvement tool for sustainable performance: literature review and directions". *International Journal of Quality & Reliability Management* no. 34 (3):334-61. <http://dx.doi.org/10.1108/IJQRM-03-2015-0045>.
- Rother, M. e J. Shook. 2003. *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Taylor & Francis.
- Steenkamp, L. P., D. Hagedorn-Hansen e G. A. Oosthuizen. 2017. "Visual Management System to Manage Manufacturing Resources". *Procedia Manufacturing* no. 8:455-462. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917300641>.
- Womack, J.P. e D.T. Jones. 1996. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster.
- Womack, J.P., D.T. Jones e D. Roos. 2007. *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production-- Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. Free Press.

ANEXO A: Layouts inicial e proposto do dep. de pré-séries

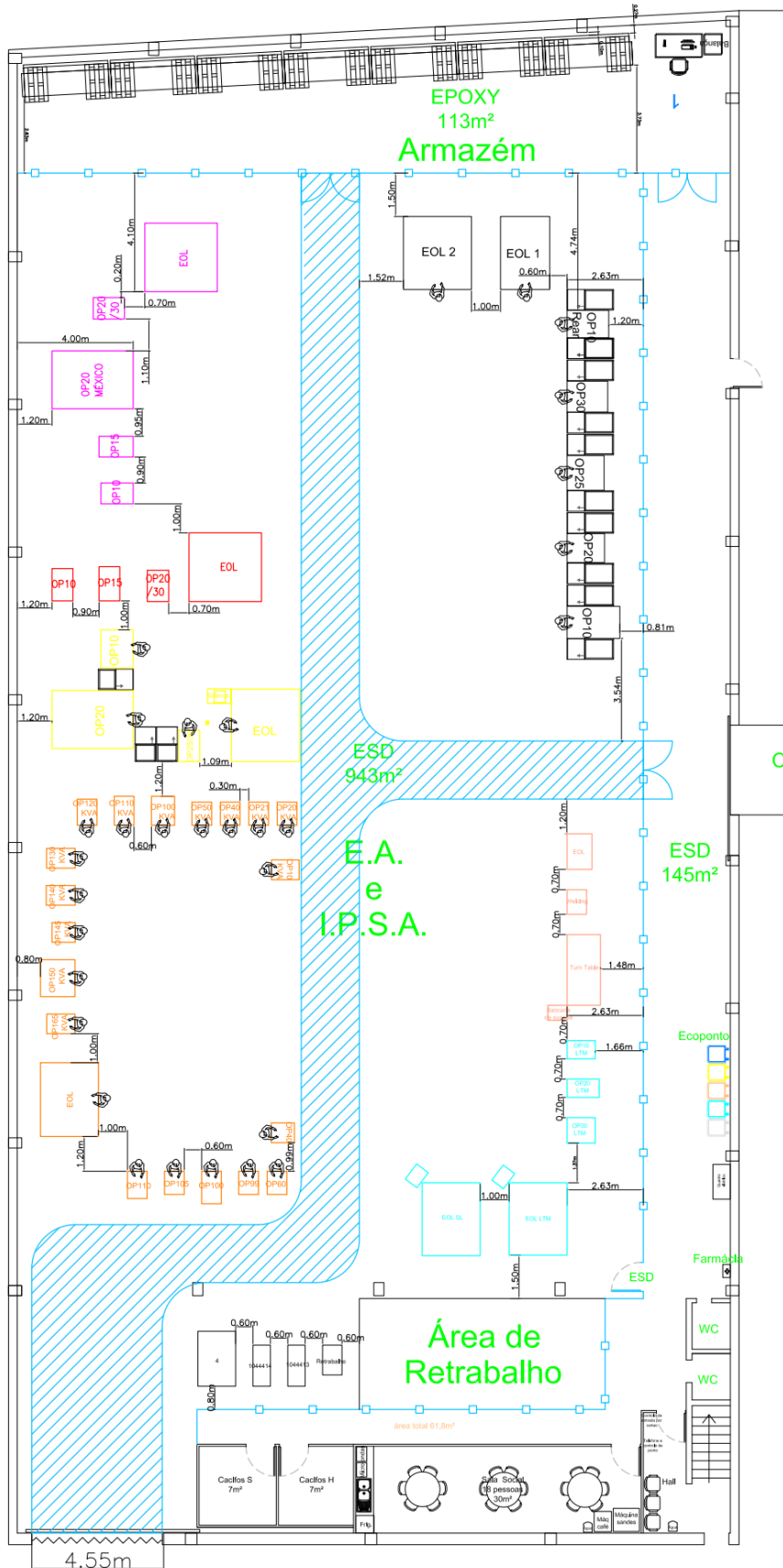


Figura 44 – Layout inicial do piso inferior do departamento de pré-séries

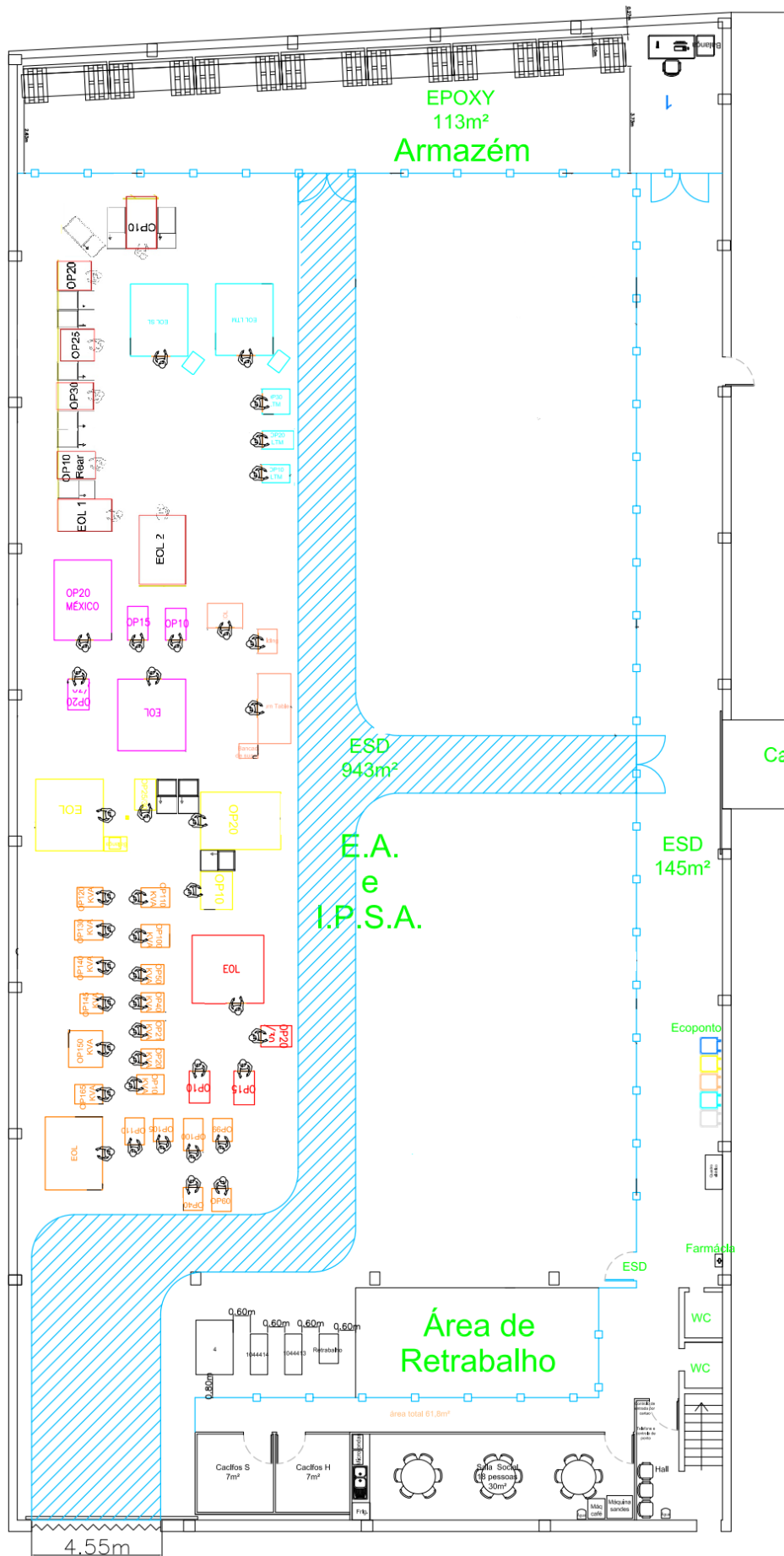


Figura 45 Layout proposto para o piso inferior do departamento de pré-séries

ANEXO B: Vista explodida dos produtos finais da linha de montagem SmartDisplay México

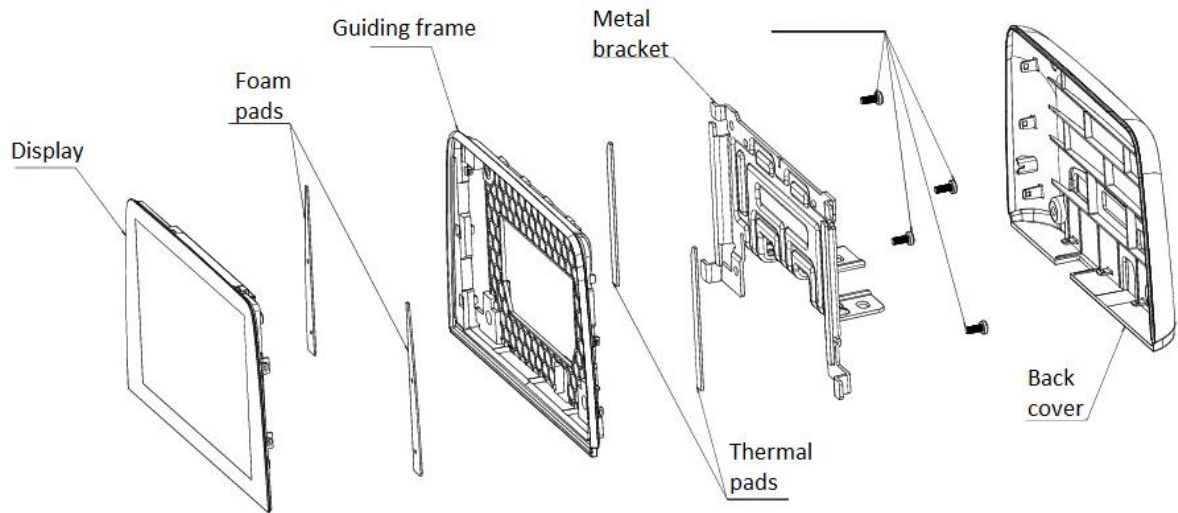


Figura 47 Vista explodida do produto F

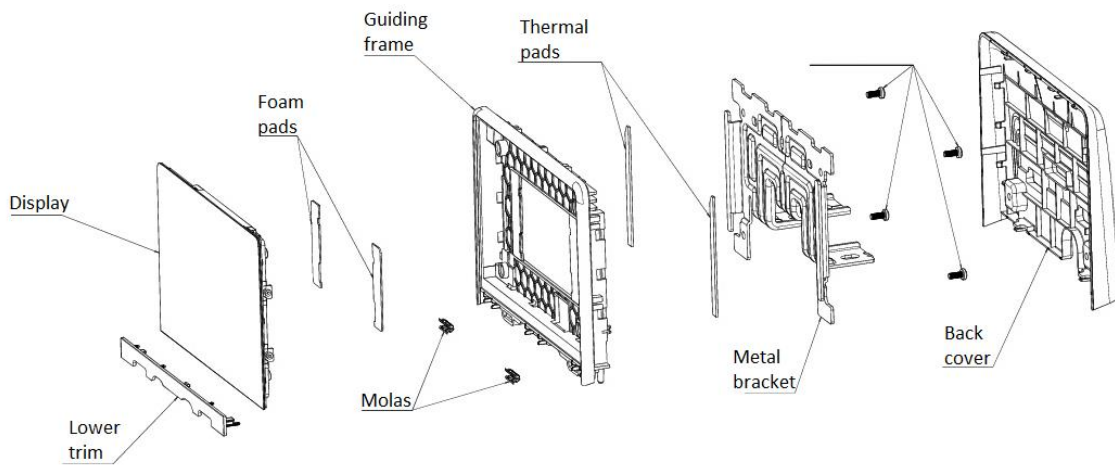


Figura 46 Vista explodida do produto L

ANEXO C: Tempos das operações realizadas nos equipamentos da linha SmartDisplay

Tabela 7 – Operações realizadas no OP10 (e respetivos tempos) da linha SmartDisplay

<i>OP10</i>			
<i>Nº da operação</i>	<i>Descrição da operação</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo acumulado (s)</i>
1	<i>Picking dos foam pads</i>	(5)	5
2	<i>Colocação dos foam pads</i>	6	11
3	<i>Picking dos thermal pads</i>	(7)	18
4	<i>Colocação dos thermal pads</i>	9	27
5	<i>Inspeção visual dos pads (com película)</i>	3	30
6	<i>Remoção das películas</i>	11	41
7	<i>Inspeção visual dos pads (sem película)</i>	4	45
8	<i>Picking do guiding frame</i>	2	47
9	<i>Colocação da etiqueta</i>	6	53
10	<i>Colocação do guiding frame</i>	3	56
11	<i>Picking e colocação do metal bracket</i>	6	62
12	<i>Movimento da gaveta e calcamento</i>	8	70
13	<i>Picking do produto final</i>	4	74

Tabela 8 – Operações realizadas no OP15 (e respetivos tempos) da linha SmartDisplay

OP15

<i>Nº da operação</i>	<i>Descrição da operação</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo acumulado (s)</i>
1	<i>Picking dos foam pads</i>	5	5
2	<i>Colocação dos foam pads</i>	6	11
3	<i>Picking dos thermal pads</i>	7	18
4	<i>Colocação dos thermal pads</i>	9	27
5	<i>Inspeção visual dos pads (com película)</i>	3	30
6	<i>Remoção das películas</i>	11	41
7	<i>Inspeção visual dos pads (sem película)</i>	4	45
8	<i>Picking do guiding frame e colocação na cavidade externa</i>	2	47
9	<i>Colocação da etiqueta</i>	6	53
10	<i>Colocação das molas</i>	21	74
11	<i>Picking e colocação da lower trim</i>	5	79
12	<i>Colocação do guiding frame no ninho</i>	3	82
13	<i>Picking e colocação do metal bracket</i>	6	88
14	<i>Movimento da gaveta e calcamento</i>	8	96
15	<i>Picking do produto final</i>	4	100

Tabela 9 – Operações realizadas no OP20 (e respetivos tempos) da linha SmartDisplay

<i>OP20</i>			
<i>Nº de operação</i>	<i>Descrição da operação</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo acumulado (s)</i>
<i>WS1-1</i>	<i>Picking e colocação do guiding frame</i>	4	4
<i>WS1-2</i>	<i>Picking e colocação do display</i>	3	7
<i>WS1-3</i>	<i>Inspeção visual da existência das películas dos foam pads</i>	5	12
<i>WS1-4</i>	<i>Remoção das películas dos foam pads</i>	3	15
<i>WS1-5</i>	<i>Inspeção visual dos foam pads (sem películas) e do display</i>	8	23
<i>WS1-WS2</i>	<i>Rotação do prato</i>	2	25
<i>WS2-1</i>	<i>Varrimento 3D do guiding frame</i>	22	47
<i>WS2-2</i>	<i>Picking robotizado do display</i>	16	63
<i>WS2-3</i>	<i>Inspeção visual dos contornos do display</i>	10	73
<i>WS2-4</i>	<i>Placing do display no guiding frame e movimento do robô para a posição inicial</i>	40	113
<i>WS2-WS3</i>	<i>Rotação do prato</i>	2	115
<i>WS3-1</i>	<i>Calcamento do display</i>	5	120
<i>WS3-WS1</i>	<i>Rotação do prato</i>	2	122
<i>WS1-0</i>	<i>Picking do subconjunto final</i>	3	125
<i>Totais</i>	<i>WS1+Rotação</i>		28
	<i>WS2+Rotação</i>		90
	<i>WS3+Rotação</i>		7

Tabela 10 – Operações realizadas no OP25/30 (e respetivos tempos) da linha SmartDisplay

OP25/30

<i>Nº da operação</i>	<i>Descrição da operação</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo acumulado (s)</i>
1	<i>Picking do subconjunto inicial</i>	4	4
2	<i>Colocação do subconjunto na cavidade</i>	6	10
3	<i>Fecho da primeira máscara de aparafusamento</i>	2	12
4	<i>Primeira sequência de aparafusamento</i>	11	23
5	<i>Abertura da primeira máscara de aparafusamento</i>	3	26
6	<i>Picking da back cover</i>	1	27
7	<i>Colocação da back cover</i>	3	30
8	<i>Fecho da segunda máscara de aparafusamento</i>	3	33
9	<i>Segunda sequência de aparafusamento</i>	13	46
10	<i>Abertura da segunda máscara de aparafusamento</i>	3	49
11	<i>Picking do produto final</i>	2	51

Tabela 11 – Operações realizadas no EOL (e respetivos tempos) da linha SmartDisplay

<i>EOL</i>			
<i>Nº da operação</i>	<i>Descrição da operação</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo acumulado (s)</i>
<i>WS1-1</i>	<i>Picking e colocação do subconjunto</i>	4	4
<i>WS1-2</i>	<i>Leitura do código rastreável do subconjunto e subida do conector</i>	6	10
<i>WS1-3</i>	<i>Teste inicial daylight</i>	3	13
<i>WS1-4</i>	<i>Touch test</i>	6	19
<i>WS1-5</i>	<i>Descida do mecanismo tubus</i>	3	22
<i>WS1-6</i>	<i>Teste RGB</i>	8	30
<i>WS1-7</i>	<i>Subida do mecanismo tubus</i>	2	32
<i>WS1-8</i>	<i>Encerramento de ligações e descida do conector</i>	6	38
<i>WS1-WS2</i>	<i>Rotação do prato</i>	1	39
<i>WS2-1</i>	<i>Inicialização do teste de linearidade</i>	8	47
<i>WS2-2</i>	<i>Teste de linearidade</i>	16	63
<i>WS2-3</i>	<i>Medições de corrente</i>	16	79
<i>WS2-WS3</i>	<i>Rotação do prato</i>	1	80
<i>WS3-1</i>	<i>Testes de cor/contraste/luminosidade</i>	25	105
<i>WS3-WS4</i>	<i>Rotação do prato</i>	1	106
<i>WS4-1</i>	<i>Aplicação da película de proteção</i>	8	114
<i>WS4-2</i>	<i>Colocação da etiqueta final</i>	7	121
<i>WS4-3</i>	<i>Verificação e leitura da etiqueta final</i>	3	124
<i>WS4-WS1</i>	<i>Rotação do prato</i>	1	125
<i>WS1-0</i>	<i>Testes finais do produto</i>	8	133
<i>WS1-0.1</i>	<i>Picking e colocação do produto final</i>	4	137
<i>Totais</i>	<i>WS1+Rotação do prato</i>		51
	<i>WS2+Rotação do prato</i>		41
	<i>WS3+Rotação do prato</i>		26
	<i>WS4+Rotação do prato</i>		19

ANEXO D: Tempos das operações realizadas nos equipamentos da linha SmartDisplay - após melhorias

Tabela 12 – Operações realizadas no OP10 (e respetivos tempos) da linha SmartDisplay – após melhorias

OP10 – após melhorias

<i>Nº da operação</i>	<i>Descrição da operação</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo acumulado (s)</i>
1	<i>Picking dos foam pads</i>	3	3
2	<i>Colocação dos foam pads e remoção das películas</i>	7	10
3	<i>Picking dos thermal pads</i>	3	13
4	<i>Colocação dos thermal pads e remoção das películas</i>	8	21
5	<i>Inspeção visual dos pads (sem película)</i>	3	24
6	<i>Colocação do subconjunto</i>	4	28
7	<i>Movimento da gaveta e calcamento</i>	8	36
<i>T. externa – 7.1</i>	<i>Picking do guiding frame</i>	2	36
<i>T. externa – 7.2</i>	<i>Colocação da etiqueta</i>	4	36
<i>T. externa – 7.3</i>	<i>Colocação do metal bracket</i>	2	36
8	<i>Picking do produto final</i>	3	39

Tabela 13 – Operações realizadas no OP15 (e respetivos tempos) da linha SmartDisplay – após melhorias

OP15 – após melhorias

<i>Nº da operação</i>	<i>Descrição da operação</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo acumulado (s)</i>
<i>1</i>	<i>Picking dos foam pads</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>2</i>	<i>Colocação dos foam pads e remoção das películas</i>	<i>7</i>	<i>10</i>
<i>3</i>	<i>Picking dos thermal pads</i>	<i>3</i>	<i>13</i>
<i>4</i>	<i>Colocação dos thermal pads e remoção das películas</i>	<i>8</i>	<i>21</i>
<i>5</i>	<i>Inspeção visual dos pads (sem película)</i>	<i>3</i>	<i>24</i>
<i>6</i>	<i>Colocação do subconjunto</i>	<i>3</i>	<i>27</i>
<i>7</i>	<i>Picking e colocação do metal bracket</i>	<i>3</i>	<i>30</i>
<i>8</i>	<i>Movimento da gaveta e calcamento</i>	<i>8</i>	<i>38</i>
<i>T. externa – 8.1</i>	<i>Picking e colocação do guiding frame na cavidade externa</i>	<i>3</i>	<i>38</i>
<i>T. externa – 8.2</i>	<i>Colocação da etiqueta</i>	<i>3</i>	<i>38</i>
<i>9</i>	<i>Colocação das molas</i>	<i>10</i>	<i>46</i>
<i>10</i>	<i>Picking e colocação da lower trim</i>	<i>5</i>	<i>51</i>
<i>11</i>	<i>Picking do produto final</i>	<i>3</i>	<i>54</i>

Tabela 14 – Operações realizadas no OP20 (e respetivos tempos) da linha SmartDisplay – após melhorias

OP20 – após melhorias

<i>Nº de operação</i>	<i>Descrição da operação</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo acumulado (s)</i>
<i>WS1-1</i>	<i>Picking e colocação do guiding frame</i>	3	3
<i>WS1-2</i>	<i>Picking e colocação do display</i>	3	6
<i>WS1-3</i>	<i>Inspeção visual da existência das películas dos foam pads</i>	5	11
<i>WS1-4</i>	<i>Remoção das películas dos foam pads</i>	2	13
<i>WS1-5</i>	<i>Inspeção visual dos foam pads (sem películas) e do display</i>	8	21
<i>WS1-WS2</i>	<i>Rotação do prato</i>	2	23
<i>WS2-1</i>	<i>Varrimento 3D do guiding frame</i>	22	45
<i>WS2-2</i>	<i>Picking robotizado do display</i>	6	51
<i>WS2-3</i>	<i>Inspeção visual dos contornos do display</i>	7	58
<i>WS2-4</i>	<i>Placing do display no guiding frame e movimento do robô para a posição inicial</i>	4	52
<i>WS2-WS3</i>	<i>Rotação do prato</i>	2	54
<i>WS3-1</i>	<i>Calcamento do display</i>	5	59
<i>WS3-WS1</i>	<i>Rotação do prato</i>	2	61
<i>WS1-0</i>	<i>Picking do subconjunto final</i>	3	64
<i>Totais</i>	<i>WS1+Rotação</i>		23
	<i>WS2+Rotação</i>		41
	<i>WS3+Rotação</i>		7

Tabela 15 – Operações realizadas no OP25/30 (e respetivos tempos) da linha SmartDisplay – após melhorias

OP25/30 – após melhorias

<i>Nº da operação</i>	<i>Descrição da operação</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo acumulado (s)</i>
1	<i>Picking do subconjunto inicial</i>	2	2
2	<i>Colocação do subconjunto na cavidade</i>	3	3
3	<i>Fecho da primeira máscara de aparafusamento</i>	2	5
4	<i>Primeira sequência de aparafusamento</i>	9	14
5	<i>Abertura da primeira máscara de aparafusamento</i>	2	16
6	<i>Picking da back cover</i>	1	17
7	<i>Colocação da back cover</i>	3	20
8	<i>Fecho da segunda máscara de aparafusamento</i>	3	23
9	<i>Segunda sequência de aparafusamento</i>	10	33
10	<i>Abertura da segunda máscara de aparafusamento</i>	2	35
11	<i>Picking do produto final</i>	2	37

Tabela 16 – Operações realizadas no EOL (e respetivos tempos) da linha SmartDisplay – após melhorias

<i>EOL -após melhorias</i>			
<i>Nº da operação</i>	<i>Descrição da operação</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo acumulado (s)</i>
<i>WS1-1</i>	<i>Picking e colocação do subconjunto</i>	4	4
<i>WS1-2</i>	<i>Leitura do código rastreável do subconjunto e subida do conetor</i>	6	10
<i>WS1-4</i>	<i>Touch test</i>	4	14
<i>WS1-5</i>	<i>Descida do mecanismo tubus</i>	2	16
<i>WS1-6</i>	<i>Teste RGB</i>	5	21
<i>WS1-7</i>	<i>Subida do mecanismo tubus</i>	2	23
<i>WS1-8</i>	<i>Encerramento de ligações e descida do conetor</i>	5	28
<i>WS1-WS2</i>	<i>Rotação do prato</i>	1	29
<i>WS2-1</i>	<i>Inicialização do teste de linearidade</i>	8	37
<i>WS2-2</i>	<i>Teste de linearidade</i>	16	53
<i>WS2-3</i>	<i>Medições de corrente</i>	16	69
<i>WS2-WS3</i>	<i>Rotação do prato</i>	1	70
<i>WS3-1</i>	<i>Testes de cor/contraste/luminosidade</i>	25	95
<i>WS3-WS4</i>	<i>Rotação do prato</i>	1	96
<i>WS4-1</i>	<i>Aplicação da película de proteção</i>	8	104
<i>WS4-2</i>	<i>Colocação da etiqueta final</i>	7	111
<i>WS4-3</i>	<i>Verificação e leitura da etiqueta final</i>	3	114
<i>WS4-WS1</i>	<i>Rotação do prato</i>	1	115
<i>WS1-0</i>	<i>Testes finais do produto</i>	8	123
<i>WS1-0.1</i>	<i>Picking do produto final</i>	2	125
<i>Totais</i>	<i>WS1+Rotação do prato</i>		39
	<i>WS2+Rotação do prato</i>		41
	<i>WS3+Rotação do prato</i>		26
	<i>WS4+Rotação do prato</i>		19

ANEXO E: Melhorias implementadas na linha de montagem SmartDisplay

Tabela 17 – Melhorias implementadas nos equipamentos OP10 e 15 da linha SmartDisplay

<i>Equipamento</i>	<i>Problema</i>	<i>Medida aplicada</i>	<i>Categorias associadas</i>	<i>Melhorias</i>
OP10	Guiamento da peça na cavidade do equipamento é insuficiente	Adição de dois pinos de guiamento adicionais	QFP	É garantido um posicionamento mais consistente do subconjunto, eliminando folgas significativas
OP10 OP15	A caixa onde se colocam as películas cai facilmente	Alteração da estrutura do suporte da caixa	ESO EVE	A estabilidade da caixa é garantida
OP10	O calcamento do subconjunto causa a flexão indesejada de alguns componentes	Alteração da posição dos suportes dos calcadores do equipamento	QFP	O subconjunto deixou de ser esforçado à flexão
OP10 OP15	Os calcadores pressionam o subconjunto com demasiada força	Troca das molas por outras com uma constante de elasticidade inferior	QFP	O subconjunto apresenta, estatisticamente, melhores características mecânicas
OP10 OP15	A primeira inspeção visual dos <i>pads</i> é desnecessária, e prejudica o tempo de ciclo	Remoção desta verificação, possibilitando a remoção imediata das películas dos <i>pads</i> após a sua colocação	CT	Eliminação da operação 5 em ambos os equipamentos e agregação das operações 2 e 4 com a operação 6
OP10 OP15	O <i>picking</i> dos <i>foam</i> e <i>thermal pads</i> é lento se estes estiverem armazenados em caixas (<i>bulk storage</i>)	Implementação de dispensadores automáticos de etiquetas (do lado direito do operador)	CT ESO	O <i>picking</i> torna-se mais acessível. -2s na operação 1 e 4s na operação 2 de ambos os equipamentos
OP10 OP15	Algumas tarefas podem ser realizadas durante os momentos em que a máquina está ocupada	Transformação das tarefas (erradamente) internas em tarefas externas	CT	-8s de CT, inseridos nas janelas da operação 12 do OP10 e da operação 14 do OP15
OP15	A colocação das molas é pouco ergonómica e lenta	Implementação de uma ferramenta que facilita a colocação das molas	CT ESO	A utilização da ferramenta facilita a colocação das molas. -11s na operação 10 do OP15

Tabela 18 – Melhorias implementadas no OP20 da linha SmartDisplay

<i>Equipamento</i>	<i>Problema</i>	<i>Medida aplicada</i>	<i>Categorias associadas</i>	<i>Melhorias</i>
OP20	O robô que realiza o <i>pick and place</i> do display move-se de forma demasiado lenta	Alteração da velocidade de movimentação do robô	CT	-10s e -36s nas operações WS2-2 e 4, respetivamente.
OP20	A verificação visual dos contornos do display é demasiado lenta	Simplificação do código utilizado neste passo	CT	-3s na operação WS2-3

Tabela 19 – Melhorias implementadas no OP25/30 da linha SmartDisplay

<i>Equipamento</i>	<i>Problema</i>	<i>Medida aplicada</i>	<i>Categorias associadas</i>	<i>Melhorias</i>
OP25/30	Alguns aparafusamentos não têm sucesso pelo facto de os parafusos não terem guiamento suficiente	Implementação de camisas de aparafusamento mais compridas	ESO QFP CT EVE	O tempo de ciclo (em média) diminui, visto haver um nº inferior de repetições de aparafusamentos, assim como a qualidade do produto final, sendo que os parafusos sem guiamento danificam o produto por colisão
OP25/30	O bloqueio dos <i>snap hooks</i> é realizado manualmente, quando deveria ser realizado automaticamente	Implementação de calçadores na máscara de aparafusamento, de modo a bloquear os <i>snap hooks</i>	ESO QFP	Esta medida garante menos irregularidades na qualidade do produto final, assim como menor esforço por parte do operador
OP25/30	O tempo dedicado à alimentação da aparafusadora é demasiado elevado	Redução de <i>timeouts</i> de modo à alimentação ser mais rápida	CT	-2s na operação 4 e -3s na operação 9
OP25/30	Os parafusos nem sempre ficam aparafusados na totalidade ou, por vezes, apenas percorrem metade da rosca	Definição de um momento máximo [N/cm] – de modo a que o equipamento apenas cesse o aparafusamento quando esse momento for alcançado	QFP	Esta implementação permite padronizar o aperto dos parafusos, o que elimina flutuações como parafusos apertados apenas até meio
OP25/30	A movimentação da máscara para a posição inicial provoca um impacto forte, que causa desgaste e é ruidosa	Implementação de um amortecedor para suavizar esta colisão	ESO EVE	O desgaste associado é reduzido, assim como as perturbações auditivas causadas

Tabela 20 – Melhorias implementadas no EOL da linha SmartDisplay

<i>Equipamento</i>	<i>Problema</i>	<i>Medida aplicada</i>	<i>Categorias associadas</i>	<i>Melhorias</i>
<i>EOL-WS1</i>	O <i>timeout</i> implementado para o <i>touch test</i> é demasiado elevado	Redução do <i>timeout</i>	CT	-2s na operação WS1-4
<i>EOL-WS1</i>	A descida do mecanismo <i>tubus</i> é perigosa para o utilizador – existe o perigo de encravamento dos dedos	Implementação de um <i>timeout</i> para que o <i>tubus</i> regresse à sua posição inicial se não alcançar a posição final dentro do tempo esperado	ESO	O operador deixa de correr o risco de encravamento dos dedos
<i>EOL-WS1</i>	O teste <i>daylight</i> é redundante, considerando a existência do teste RGB	Remoção do teste <i>daylight</i>	CT	Eliminação da operação WS1-3 – redução de 3s no CT

ANEXO F: Melhorias implementadas na linha de montagem PJ1

<i>Nº do tópico</i>	<i>Equipamento</i>	<i>Melhoria</i>	<i>Categorias associadas</i>
1	OP10 Front OP20 OP30 OP10 Rear	Marcação visual da sequência de aparafusamento e implementação de um sistema de posicionamento de coordenadas polares que obriga ao cumprimento desta em todos os equipamentos	QFP
2	OP10 Front OP10 Rear	Implementação de um manómetro, que permite o ajuste da pressão de atuação do cilindro que realiza o calcamento do <i>loudspeaker</i>	EVE QFP
3	OP10 Front OP10 Rear	Implementação de um Poka-Yoke que obriga à colocação do <i>loudspeaker</i> sempre na mesma posição, para ambos os equipamentos	QFP
4	OP10 Front	Alteração da sequência de operações, de modo a que o operador as possa realizar com o subconjunto inserido na cavidade	CT ESO EVE
5	OP20	Alteração mecânica do espaçador, de modo a que este assente no subconjunto sem o danificar, tornando-se estável	QFP
6	OP20	Implementação de uma posição de descanso do cabo do <i>loudspeaker</i> , de modo a que este não seja acidentalmente calcado	QFP
7	OP20 OP30	Implementação de um mecanismo anexo ao cilindro de encravamento, que permite o guiamento dos <i>flat cables</i> de forma facilitada	CT ESO
8	OP30	Alteração da mola responsável pela subida do <i>bit holder</i>	ESO QFP
9	OP10 Rear	Alteração das camisas de aparafusamento – remoção do mecanismo de “centribucha”	QFP
10	EOL1 EOL2	Retificação das peças responsáveis pelo encravamento do conjunto	ESO EVE QFP
11	EOL2	Correção do código utilizado na estação 2 do EOL2, responsável pelo acontecimento	CT EVE
12	Todos os equipamentos	Definição de bordos de linha personalizados, como é descrito de seguida	CT ESO QFP

ANEXO G: Bordos de Linha implementados na linha PJ1

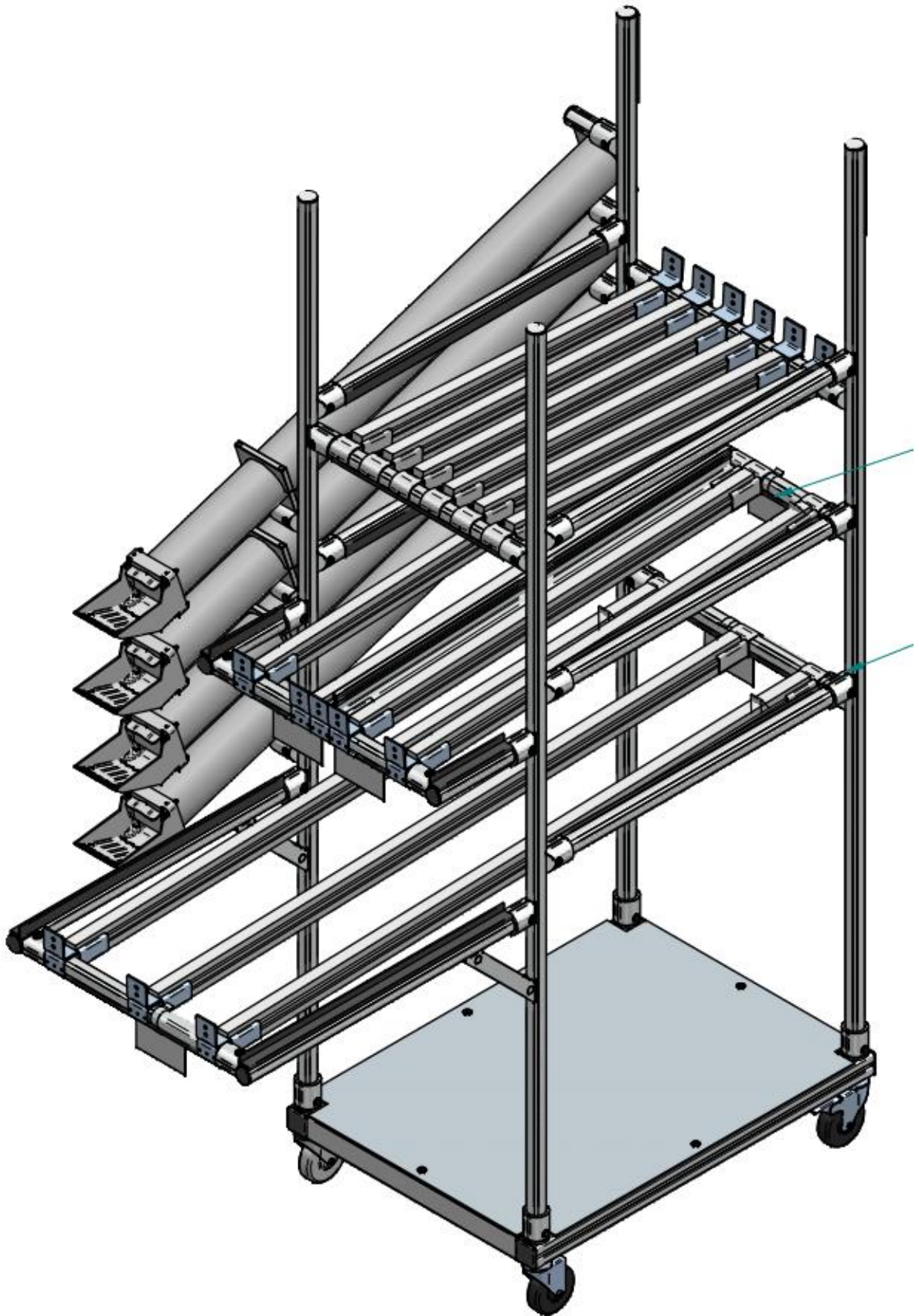


Figura 48 – BOL para o equipamento OP10 – lado direito



Figura 49 – BOL para o equipamento OP10 – lado esquerdo

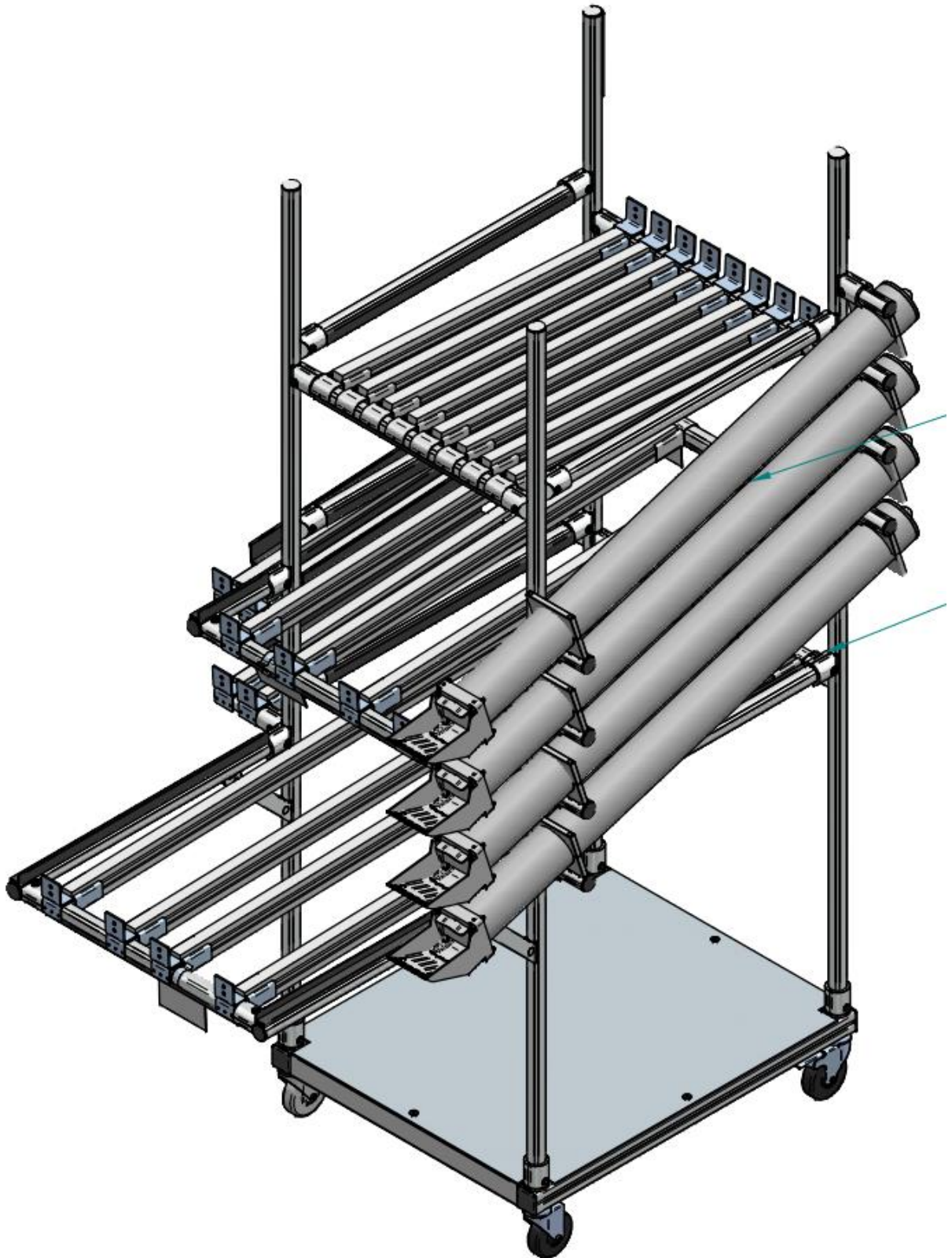


Figura 50 – BOL para o equipamento OP20 – lado esquerdo

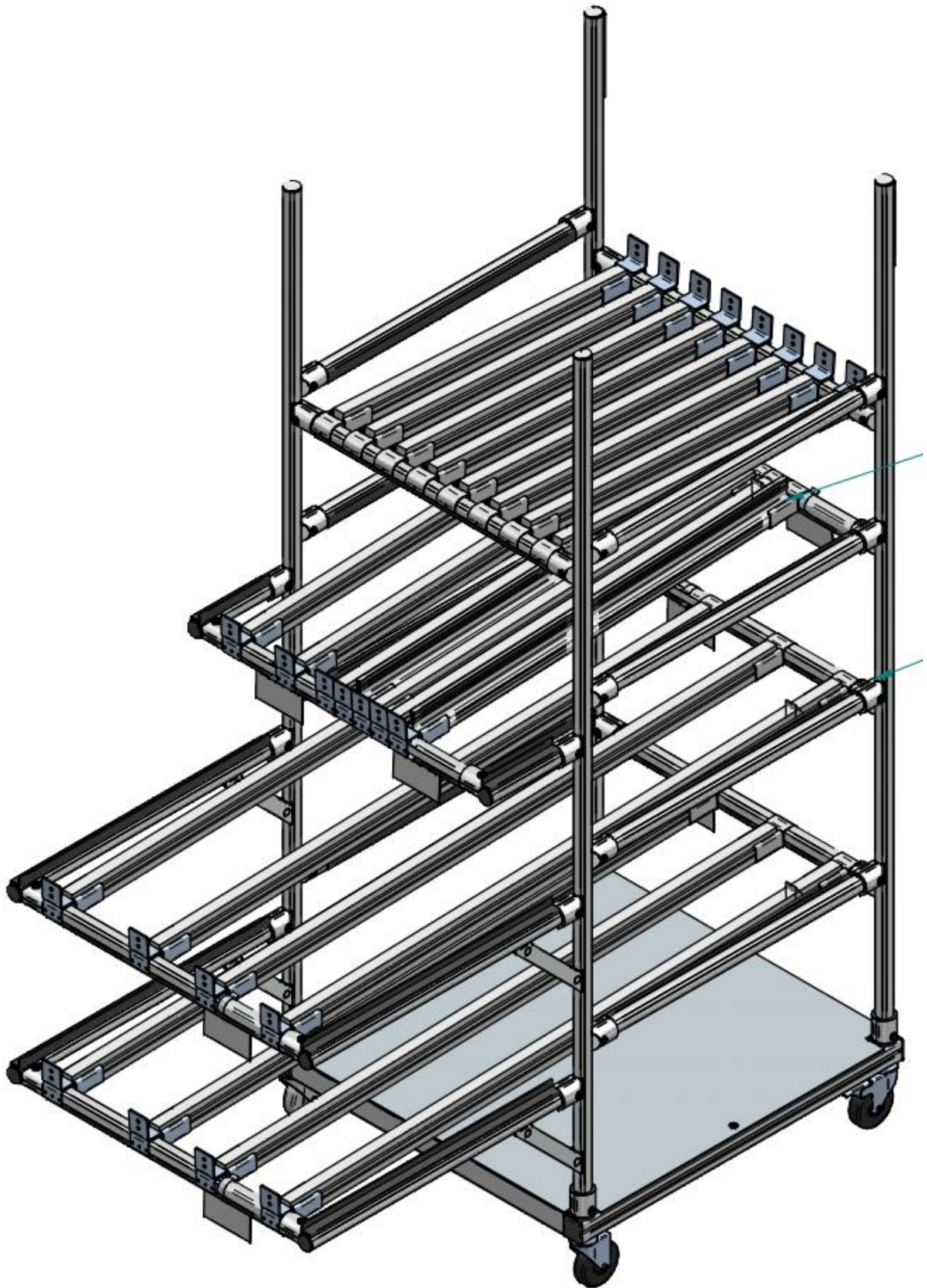


Figura 51 – BOL para o equipamento OP30 – lado direito

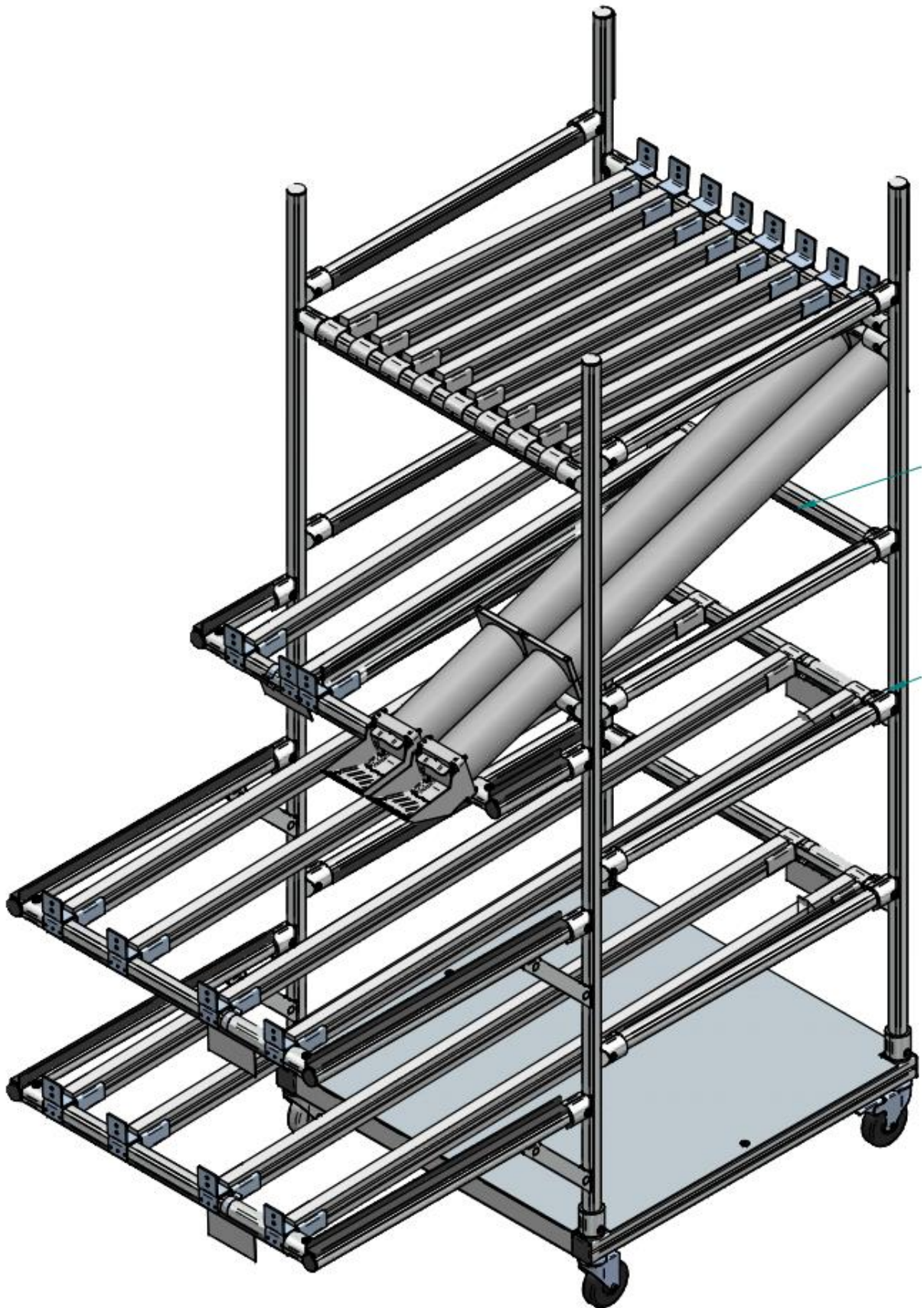


Figura 52 – BOL para o equipamento OP30 – lado esquerdo

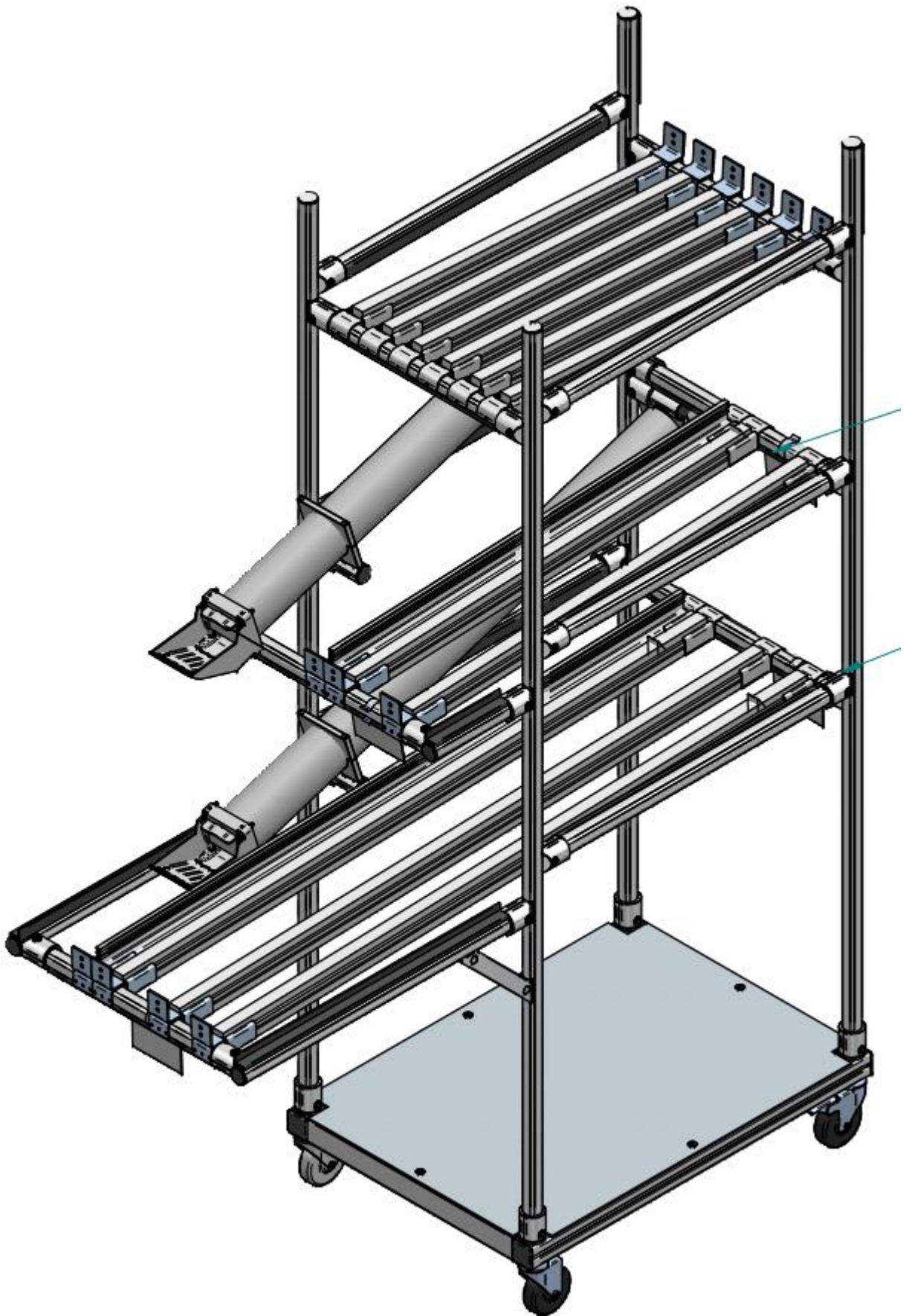


Figura 53 – BOL para o equipamento OP10 Rear – lado direito

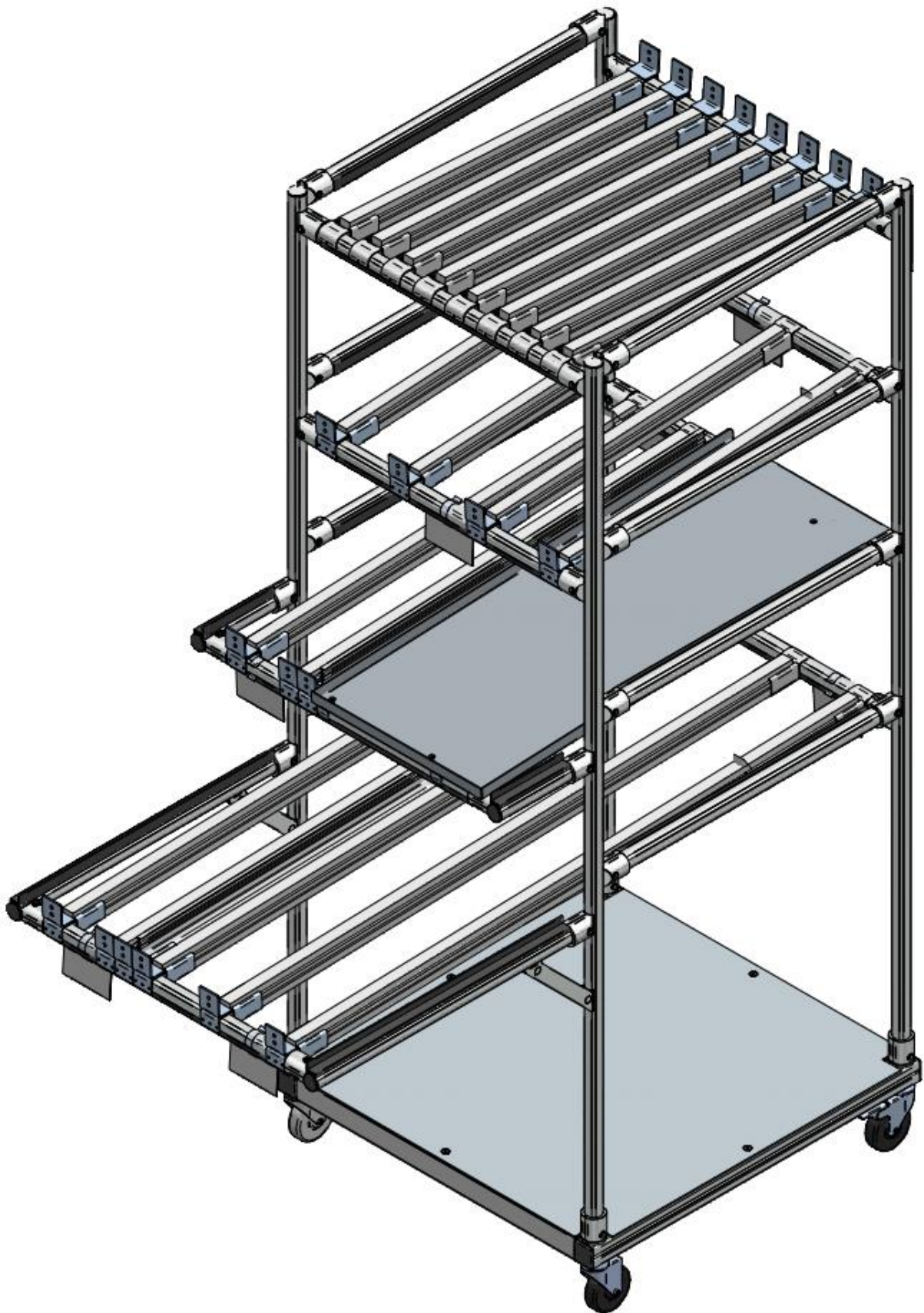


Figura 54 – BOL para o equipamento OP10 Rear – lado esquerdo

ANEXO H: Fluxograma da aplicação informática concebida

