



Universidade de Aveiro
2022

**ANA CRISTINA
BRITO OLIVEIRA
MARTINS BARBOSA**

**CONTRIBUIÇÕES PARA A MELHORIA DO
PROCESSO PRODUTIVO COM BASE EM PRÁTICAS
LEAN – UM ESTUDO NUMA EMPRESA DO SETOR
AUTOMÓVEL**



Universidade de Aveiro
2022

**ANA CRISTINA
BRITO OLIVEIRA
MARTINS BARBOSA**

**CONTRIBUIÇÕES PARA A MELHORIA DO
PROCESSO PRODUTIVO COM BASE EM PRÁTICAS
LEAN – UM ESTUDO NUMA EMPRESA DO SETOR
AUTOMÓVEL**

Relatório de projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Prof^a. Doutora Leonor da Conceição Teixeira, Professora Associada do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha família pelo incansável apoio.

o júri

Presidente

Prof^a. Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof^a. Doutora Ângela Maria Esteves da Silva
Professora Adjunta da Escola Superior de Ciências Empresariais

Prof^a. Doutora Leonor da Conceição Teixeira
Professora Associada da Universidade de Aveiro (Orientadora)

Agradecimentos

Em primeiro lugar, um agradecimento especial aos meus pais por tudo o que sempre fizeram por mim, pela educação e valores que me transmitiram, pelo apoio incondicional que me deram em todos os momentos da minha vida e pelos esforços que fizeram para que eu pudesse chegar até aqui. Esta conquista também é vossa.

Agradeço também às minhas irmãs que sempre foram um enorme suporte na minha vida e me deram a força e motivação necessárias para superar este desafio.

À *Teijin Automotive Technologies Portugal* pela oportunidade concedida, em especial ao Eng. Paulo Neto, orientador por parte da empresa, pelo incansável apoio ao longo de todo o estágio, pela sua total disponibilidade e por todos os valores e conhecimentos que me transmitiu, que foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os colaboradores da *Teijin*, em especial à Raquel Cunhal, Felipe Dias, Luís Sousa e José Neves pela maneira tão especial como me receberam, integraram e ajudaram em tudo e por todos os momentos bons passados.

À Professora Leonor Teixeira por todo o apoio durante o período de estágio e por todos os conselhos, sugestões e críticas construtivas dadas para o sucesso deste relatório.

Por fim, mas não menos importante, às minhas colegas Ana, Joana e Filipa que foram um pilar fundamental em todo o meu percurso académico e que sempre estiveram lá para me ajudar em tudo.

palavras-chave

Lean Manufacturing, VSM, Kanban, Junjo, Ergonomia, Estudo de Tempos.

resumo

Atualmente, a exigência e pressão do mercado sentida pelas empresas para entregarem produtos de qualidade aliada à redução de custos implica a definição de novas estratégias de negócio que passam pela aposta na melhoria da eficiência e qualidade, com o objetivo de alcançar a excelência operacional. Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo realizado numa unidade industrial de produção de peças e componentes para a indústria automóvel, que surge da necessidade de implementar melhorias no processo produtivo, por forma a reduzir desperdícios e custos inerentes aos mesmos.

Assim, numa fase inicial do projeto, foi necessário entender o contexto e os pontos críticos tendo, para o efeito, sido efetuada uma análise à situação atual dos processos. Posteriormente, foram desenvolvidas três propostas de melhoria, com base na aplicação de práticas e ferramentas *Lean*, para dar resposta aos objetivos propostos. Na primeira proposta, foi aplicada a ferramenta *Value Stream Mapping* (VSM) que permitiu identificar oportunidades de melhoria no processo e as respetivas ações a implementar, numa ótica de redução de desperdícios de tempo, defeitos e *stocks* e, conseqüentemente, redução do *lead time* do processo. A segunda proposta de melhoria teve como objetivo eliminar um dos desperdícios previamente identificados com base na ferramenta VSM, desperdício esse relacionado com o tempo alargado de *setup* nos dois postos de trabalho da montagem. A juntar a este, surge também o objetivo de melhorar a organização do posto de trabalho e reduzir o risco de lesões músculo-esqueléticas, sendo que a solução proposta passou pelo estudo de um novo método de abastecimento por *kanban*, que possibilitou a redução de cerca de 70% do tempo de *setup* e redução de cerca de 50% do risco de lesões músculo-esqueléticas. A terceira proposta de melhoria consistiu no desenvolvimento de uma nova embalagem para as peças de *aftermarket*, em que foram apresentadas duas soluções possíveis no sentido de reduzir o tempo de ciclo do processo de embalagem, obtendo-se uma redução de 9% e 34%, que resultou numa estimativa de ganhos anuais com materiais e mão de obra de 7576,36€ e 3645,31€, respetivamente.

keywords

Lean Manufacturing, VSM, Kanban, Junjo, Ergonomics, Time Study.

abstract

Nowadays, the demand and market pressure felt by companies to deliver quality products allied to cost reduction plans implies the definition of new business strategies which involves a commitment to improving processes efficiency, quality, and availability, to achieve operational excellence. In this sense, this work presents a study conducted in an industrial unit that produces parts and components for the automotive industry and arises from the need to implement process improvements to reduce waste and related costs.

Thus, at an early stage of the project, it was necessary to understand its context and critical points and, for this purpose, an analysis of the current situation of processes was conducted. Subsequently, three improvement proposals were developed, based on the application of Lean practices and tools, to respond to the proposed objectives. In the first proposal, Value Stream Mapping (VSM) tool was applied, which made it possible to identify opportunities for process improvement and respective actions to be implemented, focused on reducing and, consequently, reducing process lead time. The second proposal aimed to eliminate one of the problems previously identified with VSM tool, a waste related to the extended setup time in two assembly workstations. In addition to this, there is also the objective of improving workplace organization and reducing the risk of musculoskeletal injuries. The proposed solution involved a study of a new supply method using kanban, which made it possible to reduce about 70% of setup time and about 50% of risk of musculoskeletal injuries. The third improvement proposal consisted in developing a new packaging for aftermarket parts, in which two practical solutions were presented to reduce the packaging process cycle time, resulting in a reduction of 9% and 34%, that would reduce material and labor costs in 7576,36€ and 3645,31€, respectively.

ÍNDICE

Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	x
Capítulo I. Introdução.....	1
I.1. Motivação e Contextualização do Trabalho	1
I.2. Relevância do Desafio.....	2
I.3. Objetivos e Metodologia	2
I.4. Estrutura da Dissertação	5
Capítulo II. Estado da Arte	6
II.1. <i>Lean Manufacturing</i>	6
II.2. Fluxos de Logística interna	16
II.3. Importância da integração dos princípios da ergonomia em ambientes <i>Lean</i>	21
II.4. Medição do trabalho	25
Capítulo III. Apresentação da Empresa e Contextualização	31
III.1. Apresentação da empresa	31
III.2. Produtos	32
III.3. Descrição do processo produtivo	33
Capítulo IV. Caso Prático: Propostas de Melhoria	36
IV.1. Aplicação da ferramenta Value Stream Mapping (VSM)	36
IV.2. Melhoria do sistema de abastecimento de componentes na montagem.....	54
IV.3. Desenvolvimento de uma nova embalagem para produtos de <i>aftermarket</i>	72
Capítulo V. Considerações Finais	87
V.1. Conclusão e Contribuições do trabalho	87
V.2. Limitações e Sugestões de trabalho futuro	88
Referências Bibliográficas	90
Anexos	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - A espiral da metodologia de investigação-ação (Saunders et al., 2007)	4
Figura 2 - Representação do fluxo total de valor (Rother & Shook, 2003)	9
Figura 3 - Metodologia para a implementação do VSM (Rother & Shook, 2003).....	10
Figura 4 - Exemplo de um VSM do estado atual (Rother & Shook, 2003)	12
Figura 5 - Exemplo de um VSM do estado futuro (Rother & Shook, 2003)	14
Figura 6 - Etapas principais de melhoria na metodologia SMED (King, 2009).....	16
Figura 7 - Fluxos logísticos internos (Coimbra, 2013)	17
Figura 8 - Sincronização por Kanban (Coimbra, 2013)	18
Figura 9 - Seis tipos de ciclos logísticos kanban (Coimbra, 2013)	19
Figura 10 – Sincronização por Junjo (Coimbra, 2013).....	21
Figura 11 - Ilustração dos parâmetros da Equação de Niosh (Waters et al., 1994).....	23
Figura 12 - Teijin Automotive Technologies Portugal S.A. (Leça do Balio)	31
Figura 13 - Duração média do setup por turno no processo de montagem	39
Figura 14 - VSM do estado atual.....	42
Figura 15 - Diagrama de Pareto de defeitos na pintura	47
Figura 16 - Peça com defeito (crateras).....	47
Figura 17 - Peça com defeito (lixo)	48
Figura 18 - Diagrama de Ishikawa para analisar as causas de lixo na peça.....	48
Figura 19 - Exemplo de uma "cortina de ar"	50
Figura 20 – Sugestão de implementação de supermercados pull no processo produtivo	54
Figura 21 - Layout da zona de montagem	55
Figura 22 – Armazém intermédio desorganizado e com excesso de componentes	58
Figura 23 - Diferentes tipos de caixas utilizadas na produção	62
Figura 24 - Exemplo da caixa proposta	62
Figura 25 - Exemplo de um cartão kanban	68
Figura 26 - Localização atual dos componentes no posto de trabalho.....	69
Figura 27 - Desenho do karakuri por gravidade para cada posto de trabalho	69
Figura 28 - Layout proposto para a zona de montagem.....	70
Figura 29 - Embalagem de peças (esquerda - peças de produção em série; direita – peças de reposição).....	73
Figura 30 - Embalagem atual de cada peça	74
Figura 31 - Desorganização no posto de trabalho	75
Figura 32 - Modelos propostos para a nova caixa	77
Figura 33 - Desenho técnico das peças.....	78
Figura 34 - Cantos e blocos atuais vs proposta futura.....	78
Figura 35 - Arestas e cantos da embalagem	83
Figura 36 - Resultados dos testes de queda para a embalagem da proposta 1	83

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de cálculo do PLR	22
Tabela 2 - Valores de Z de acordo com o nível de confiança (Stevenson, 2017)	28
Tabela 3 - Produtos fabricados pela <i>Teijin</i> Portugal	33
Tabela 4 - Peças incluídas em cada projeto	33
Tabela 5 - Cadências dos processos	39
Tabela 6 - Tempos de ciclo e tempos de <i>setup</i>	39
Tabela 7 - Oportunidades de melhoria identificadas e respetivas ações a implementar	44
Tabela 8 - Ações para mitigar causas de lixo na peça	49
Tabela 9 - Duração média das tarefas do <i>setup</i>	51
Tabela 10 - Valores estimados para o <i>setup</i> futuro	51
Tabela 11 - Impacto da redução de <i>setup</i> na produtividade da moldação	52
Tabela 12 – Valor obtido para o PLR	65
Tabela 13 - Cálculo do Índice Ergonómico	66
Tabela 14 - Cálculo do peso das novas caixas.....	67
Tabela 15 - Identificação das peças embaladas em cada tipo de caixa	74
Tabela 16 - Tempos de montagem e embalagem de um lote de peças para reposição.....	76
Tabela 17 - Tempo padrão das tarefas de embalagem (proposta 1)	79
Tabela 18 - Tempo padrão das tarefas de embalagem (proposta 2)	79
Tabela 19 - Comparação dos tempos atuais de embalagem com as novas propostas	80
Tabela 20 - Especificação da altura de queda (Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems, 2016).....	82
Tabela 21 - Procedimento para realização do teste de queda	82
Tabela 22 - Redução de custos com MOD na embalagem	84
Tabela 23 - Redução de custos de material na embalagem	85
Tabela 24 - Comparação das duas propostas de solução	86

Capítulo I. INTRODUÇÃO

I.1. MOTIVAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRABALHO

Nos dias de hoje, a crescente competitividade que se faz sentir nas indústrias para entregar produtos de qualidade com baixo custo e no menor tempo possível, implica que muitas empresas tenham de redefinir as suas estratégias de negócio. A verdade é que atualmente a relação fornecedor-cliente já não é vista como um compromisso tão profundo e facilmente pode ser quebrada se surgirem novas opções mais vantajosas e económicas para o cliente. Assim, num mercado cada vez mais exigente a esse nível, as empresas focam-se em manter os seus clientes fidelizados, com recurso a estratégias de melhoria contínua que muitas vezes passam por tornar os seus processos mais eficientes e com um mínimo de desperdício possível.

Sobretudo no contexto industrial, o *Lean Manufacturing*, cujo principal objetivo é a eliminação de desperdícios, ganhou popularidade pelos inúmeros casos de sucesso relacionados, especialmente o da *Toyota*. Por isso, muitas organizações apostam cada vez mais na inclusão deste tipo de abordagem nos seus negócios, considerando que pode ser um fator-chave para o sucesso organizacional.

A *Teijin Automotive Technologies Portugal* é uma empresa do setor automóvel com mais de 40 anos de experiência na sua área de atuação e que se encontra atualmente em crescimento com o lançamento de novos projetos. O seu *core business* é a produção de componentes em materiais compósitos que integram veículos ligeiros e pesados.

Tal como o mercado assim o exige, a *Teijin* procura sempre alcançar vantagem competitiva e tem como missão a satisfação das expectativas dos seus clientes. Além disso, o facto de inserir no mercado automóvel exige altos padrões de qualidade, que devem ser garantidos e acompanhados rigorosamente para garantir a satisfação total do cliente. Para tal, é fundamental a adoção de uma visão de melhoria contínua com foco na otimização de processos, eliminação de desperdícios e redução de custos.

O presente projeto, realizado no âmbito do estágio curricular na *Teijin Automotive Technologies Portugal*, em Leça do Balio, no distrito do Porto, insere-se no Departamento de Melhoria Contínua e tem como principal objetivo a melhoria do processo produtivo de uma família de produtos, através da aplicação de ferramentas *Lean*, com foco na redução de custos industriais.

I.2. RELEVÂNCIA DO DESAFIO

Nos dias de hoje, a competitividade que se sente no mercado é cada vez maior e as empresas enfrentam o desafio de apresentar soluções com qualidade, mas com baixo custo. Por isso, para se manterem na vanguarda, é implícito que tenham processos ágeis e eficientes e que apostem na redução de custos industriais.

Estando a *Teijin Automotive Technologies* inserida no mercado automóvel, em que os padrões de qualidade são elevados, é fundamental que a sua estratégia de negócio passe pela melhoria constante dos seus processos e simultaneamente uma aposta na redução de custos para que consiga entregar produtos de qualidade a um preço mais baixo.

Assim, o presente projeto surgiu da necessidade da empresa apostar nesse tipo de estratégia e de integrar o pensamento *Lean* na cultura da organização, já que esta filosofia pode ser uma alavanca para atingir os seus objetivos. Por isso, espera-se que o projeto permita identificar oportunidades de melhoria no processo, onde seja possível aplicar ferramentas e técnicas *Lean* que permitam eliminar desperdícios que, implicitamente, representam elevados custos para a empresa. Além disso, sempre que possível, a empresa necessita de quantificar os ganhos obtidos com as propostas de melhoria de forma que possam ser integradas num Plano de *Cost Reductions*, elaborado e monitorizado pelo Departamento de Melhoria Contínua da empresa.

I.3. OBJETIVOS E METODOLOGIA

Em concordância com o tópico anterior, este projeto tem como foco a melhoria da eficiência, produtividade e qualidade do processo produtivo de uma família de produtos e a redução dos desperdícios existentes, através da aplicação dos conceitos e ferramentas *Lean*. Além disso, também se pretende que a melhoria do processo possa atuar ao nível da redução de custos inerentes, quer seja pela eliminação de desperdícios ou por propostas de melhoria que permitam economizar, de forma a integrar o Plano de *Cost Reductions*.

Numa fase inicial do projeto, pretende-se realizar uma análise detalhada da situação atual e um levantamento dos problemas existentes no processo, tendo sempre em conta a sua prioridade de atuação. Após essa fase, pretende-se estudar os problemas selecionados e desenvolver uma solução adaptada ao contexto da empresa, de modo que o projeto sirva como linha orientadora para atingir os objetivos pretendidos.

De uma forma mais detalhada, foram definidos os seguintes objetivos:

- Realizar o mapeamento do processo produtivo para identificar potenciais pontos críticos, através da utilização da ferramenta *Value Stream Mapping* (VSM). Com a sua aplicação

espera-se uma redução do valor de *lead time* total e uma melhoria nos indicadores de cada processo.

- Estudar um novo método de abastecimento de componentes aos dois postos de trabalho da montagem que permita melhorar aspetos ergonómicos e reduzir o tempo de *setup*.
- Desenvolver uma nova embalagem para produtos *aftermarket* para reduzir o tempo de ciclo do embalamento de forma a *standardizar* o processo.

Para que sejam atingidos os objetivos propostos, é fundamental a definição de uma metodologia de investigação que consiste na definição de uma estratégia geral de pesquisa que delinea a maneira como um estudo deve ser realizado (Melnikovas, 2018).

Para este projeto, tendo em conta os seus objetivos, considerou-se pertinente adotar uma metodologia geral de investigação-ação. Esta metodologia “pode ser descrita como uma família de metodologias de investigação que incluem ação (ou mudança) e investigação (ou compreensão) ao mesmo tempo, utilizando um processo cíclico ou em espiral, que alterna entre ação e reflexão crítica. Nos ciclos posteriores, são aperfeiçoados, de modo contínuo, os métodos, os dados e a interpretação feita à luz da experiência (conhecimento) obtida no ciclo anterior” (Coutinho et al., 2009). Por outras palavras, a investigação-ação é uma forma de investigação que permite que um profissional investigue e avalie o seu próprio trabalho (McNiff & Whitehead, 2006), procurando encontrar soluções para o seu próprio contexto.

Este tipo de metodologia consiste na combinação de dados recolhidos com diferentes tipos de conhecimento, o conhecimento teórico e o conhecimento prático, que resulta das experiências dos participantes, com o intuito de ter um impacto positivo não só para esses participantes como também para a organização envolvida (Saunders et al., 2007). Além disso, esta metodologia apresenta uma natureza iterativa de ciclos que pressupõe processos de diagnóstico, planeamento, ação e avaliação. No primeiro ciclo, o diagnóstico, que consiste numa descoberta e análise de dados, é realizado para permitir o planeamento das ações, o seu desenvolvimento e, posteriormente, uma decisão final sobre o seu impacto. Já os ciclos subsequentes envolvem um diagnóstico adicional, já tendo em consideração as avaliações anteriores, permitindo assim planear ações adicionais, implementá-las e avaliá-las (Saunders et al., 2007). Na Figura 1, encontra-se ilustrada a natureza iterativa desta metodologia.

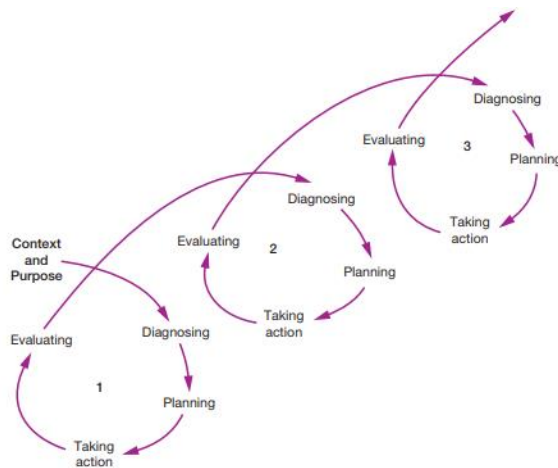


Figura 1 - A espiral da metodologia de investigação-ação (Saunders et al., 2007)

Neste projeto, a primeira fase do processo de investigação-ação consistiu numa abordagem inicial ao contexto da empresa e ao seu funcionamento organizacional. Tendo em consideração os objetivos do estudo, também foi definida a estrutura teórica inicial e os métodos de recolha e análise de dados. Já na fase de diagnóstico, foi feito um levantamento dos dados num contacto próximo com o chão de fábrica de forma a compreender o processo produtivo e todos os seus detalhes, para que fosse possível, posteriormente, identificar os problemas existentes. Durante esta fase, foi fundamental a comunicação com vários colaboradores da empresa, quer de vários departamentos, como os da produção de forma a perceber o funcionamento real dos processos, mas também as dificuldades ou problemas levantados pelos próprios operadores. A análise de dados foi feita maioritariamente com base nos dados provenientes das fichas de produção, no entanto, em situações mais específicas, foi necessário proceder ao levantamento de dados diretamente nos postos de trabalho, tendo sido realizado com recurso a registos fotográficos ou cronometragens. Já na fase de planeamento, após a identificação dos problemas a atuar, foram desenvolvidas propostas de melhoria e foram definidas as ações a implementar, pressupondo a participação ativa de vários elementos da empresa, especialmente do departamento de produção. Em simultâneo com a parte prática do projeto, foi elaborada uma revisão literária dos conceitos, temas, ferramentas e metodologias considerados úteis para a elaboração das propostas de melhoria, que foi sendo complementada à medida que surgiam necessidades de pesquisa por novos temas ou conceitos. No decorrer do projeto, foi elaborado o presente relatório que reflete todo o estudo realizado, os seus resultados esperados, as limitações e também as perspetivas de trabalhos futuros.

I.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos principais, que serão brevemente descritos nesta secção.

No primeiro capítulo é feita uma introdução ao trabalho que pressupõe uma contextualização do tema e a relevância do desafio para a empresa. São também apresentados neste capítulo os principais objetivos do trabalho assim como uma explicação da metodologia adotada para os alcançar.

O segundo capítulo apresenta um enquadramento teórico com base nos diferentes conceitos, temas ou ferramentas que serviram de base para o desenvolvimento do projeto.

No terceiro capítulo é feita uma breve apresentação da empresa, em específico do seu *core business* e uma contextualização histórica. Além disso, são também apresentados alguns dos produtos que são produzidos nas suas unidades fabris e é feita uma descrição do processo produtivo relativo à família de produtos em estudo no projeto.

O quarto capítulo aborda o caso prático na empresa e encontra-se dividido em três secções que consistem na apresentação das diferentes propostas de melhoria, em que é feita uma análise da situação atual, a identificação dos problemas, a esquematização da solução resultante do trabalho realizado ao longo do estágio e o seu impacto esperado da solução no processo.

Por fim, no quinto capítulo, encontram-se descritas as principais conclusões e reflexões sobre o projeto realizado, tendo por base uma análise crítica dos resultados obtidos, as limitações do estudo e as perspectivas de trabalho futuro.

Capítulo II. ESTADO DA ARTE

Nesta secção é apresentada uma revisão literária dos conceitos científicos relevantes para a área de estudo deste projeto, o que permitiu não só a aquisição e consolidação de conhecimentos sobre a temática, como também auxiliou a descoberta de novas ideias ou abordagens que podem ser aplicadas neste projeto prático.

II.1. *LEAN MANUFACTURING*

Atualmente, a temática *Lean* é algo que já se encontra bastante enraizado na maioria das organizações, sobretudo no contexto industrial, em todas as partes do mundo. No entanto, para perceber realmente o conceito é importante conhecer as origens do seu surgimento.

No decorrer da década de 70, uma grande crise afetou a economia do Japão. Nessa altura, a maioria das empresas do país viu os seus negócios praticamente estagnados, com exceção da *Toyota Motor Company* que, apesar das dificuldades que se faziam sentir na indústria, se encontrava em grande crescimento. Esta disparidade face às restantes empresas despertou curiosidade sobre a estratégia adotada pela Toyota que, mais tarde, originou o conceito de *Toyota Production System* (TPS) (Pereira et al., 2019) mas também vulgarmente conhecido como *Lean Manufacturing* (Dhingra et al., 2019).

De acordo com Ohno (2014) o conceito base do TPS consiste na eliminação das práticas de desperdício e a redução de custos através da aplicação de um conjunto de princípios, métodos e ferramentas de gestão no contexto industrial para alcançar a melhoria contínua (Valamede & Santos Akkari, 2020; Wagner et al., 2017). Além disso, o TPS também tem como princípio tratar os colaboradores com consideração e respeito (Pereira et al., 2019).

II.1.1. OS CINCO PRINCÍPIOS *LEAN*

Ao longo dos anos, o conceito de *Lean* foi sendo cada vez mais aprimorado e Womack & Jones (1996) definiram cinco princípios chave:

- **Especificar valor:** Definir valor através da perspetiva do cliente final, expresso num produto específico, com características específicas e num tempo específico (Hicks, 2007; Valamede & Santos Akkari, 2020).
- **Mapear o fluxo de valor:** Identificar o fluxo de valor de cada produto ou família de produtos através do mapeamento de todas as atividades relacionadas com o processo para uma visão mais clara das que representam desperdício (Hicks, 2007; Valamede & Santos Akkari, 2020).

- **Criar fluxo contínuo:** Reduzir tempos de espera e *stocks* entre as atividades para criar um fluxo contínuo nas atividades que acrescentam valor ao processo (Hicks, 2007; Valamede & Santos Akkari, 2020).
- **Estabelecer uma produção *pull*:** Produzir apenas o que é necessário e quando o cliente o solicita. O planejamento e controlo da produção é feito com base na procura do cliente (Hicks, 2007; Valamede & Santos Akkari, 2020).
- **Perseguir a perfeição:** Fazer as coisas de maneira cada vez mais eficaz é a base da melhoria contínua. A busca por melhorias deve ser um processo contínuo e alargado a toda a organização para que se possa atingir a excelência organizacional (Hicks, 2007; Valamede & Santos Akkari, 2020).

II.1.2. OS DESPERDÍCIOS *LEAN*

De acordo com Pavlovic et al. (2020), desperdício é qualquer operação ou atividade que consome recursos sem agregar valor, pelo qual o cliente não está disposto a pagar. Por vezes, o desperdício é necessário nos processos pois, apesar de não acrescentar valor para o cliente, tem impacto para a empresa e, por isso, não pode ser eliminado. No entanto, tudo o que não acrescenta valor nem para a empresa nem para o cliente é considerado desperdício ou MUDA (palavra de origem japonesa frequentemente usada no *Lean*) (Melton, 2005).

Assim, no *Toyota Production System*, Taiichi Ohno categorizou os sete tipos de desperdício em: transporte, *stock*, movimentação, espera, sobreprodução, sobreprocessamento e defeitos (Pavlovic et al., 2020). De seguida, será detalhado cada um desses desperdícios.

- **Transporte** – Relacionado com a movimentação de materiais e produtos dentro de uma fábrica, o que requer custos e manutenção (Lacerda et al., 2015).
- **Stock** – Frequentemente associado à existência de gargalos de produção ou *setups* longos, sendo necessárias áreas de armazenamento maiores e mais operações de manuseio das peças (Lacerda et al., 2015).
- **Movimentação** – Relacionado com a movimentação de trabalhadores, muitas vezes para a colocação de ferramentas ou componentes ou até em aspetos ergonómicos (Lacerda et al., 2015).
- **Espera** - Tempo perdido quando é necessário esperar pela disponibilidade de pessoas, materiais ou equipamentos. Pode ocorrer devido a obstruções de fluxo, problemas de *layout*, atrasos na entrega de componentes ou processos desequilibrados (Lacerda et al., 2015).

- **Sobreprodução** - Produção de mais peças do que as exigidas pelo cliente, originando *stock*, consumo de espaço em armazém e a utilização dos recursos da fábrica sem qualquer retorno financeiro (Lacerda et al., 2015).
- **Sobreprocessamento** – Processos ou operações que não acrescentem valor à empresa e que podem ser considerados desperdícios de produção (Lacerda et al., 2015).
- **Defeitos** - Problemas de qualidade que podem estar na origem de reclamações do cliente, frequentemente associados com falta de padronização nos processos, inexistência de sistemas de controlo de qualidade ou também falhas humanas (Lacerda et al., 2015).

No entanto, segundo Hicks (2007), Womack & Jones (1996) consideraram importante incluir um oitavo desperdício *Lean*, que está relacionado com o não aproveitamento do capital humano, quer seja do talento, conhecimento e *skills* das pessoas, visto que as organizações podem estar a perder vários benefícios vindos das suas opiniões e diversas oportunidades de melhoria (Sohel Ahmed et al., 2018).

II.1.3. FERRAMENTAS LEAN

Uma das grandes vantagens do TPS é que não inclui apenas conceitos e filosofias, mas também uma série de práticas e ferramentas de trabalho eficazes na aplicação desses conceitos no chão de fábrica (King, 2009). Dessas ferramentas destacam-se as seguintes:

- Value Stream Mapping (VSM)
- Takt Time
- Kaizen
- 5S
- Jidoka
- Single Minute Exchange of Dies (SMED)
- Poka-Yoke
- 5 Porquês
- Standard Work
- Total Productive Maintenance (TPM)
- Cellular Manufacturing
- Heijunka
- Just-In-Time (Pull)
- *Kanban*

No entanto, apenas serão detalhadas nos tópicos seguintes as ferramentas consideradas fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

II.1.3.1. VALUE STREAM MAPPING (VSM)

Antes de explorar o conceito de Mapa da Cadeia de Valor é importante, primeiramente, conhecer o significado de cadeia de valor. Segundo Rother & Shook (2003) uma cadeia de valor representa todas as ações inerentes à transformação de um produto, desde que entra na fábrica sob a forma de matéria-prima até que sai para o cliente como produto final. Estes autores consideram que qualquer produto vendido a um cliente pressupõe uma cadeia de valor e, por isso, desenvolveram o *Value Stream Mapping*, que acabou por ser baseado numa ferramenta que já era utilizada pela Toyota, o mapeamento de fluxo de materiais e de informação (Rother & Shook, 2003).

No seu livro “*Learning to See*”, Rother & Shook (2003) referem que o mapeamento da cadeia de valor deve ser visto como algo global e não apenas olhar para os processos individuais. No entanto, visto que a cadeia de valor se inicia no fornecedor e termina no cliente final, seria um desafio mapear toda essa cadeia. Por isso, os autores consideram que o mapeamento do fluxo de valor “*door-to-door*”, ou seja, dentro das instalações, é um bom ponto de partida para as empresas iniciarem a implementação desta ferramenta e darem mais um passo na jornada *Lean* (Figura 2) (Rother & Shook, 2003).

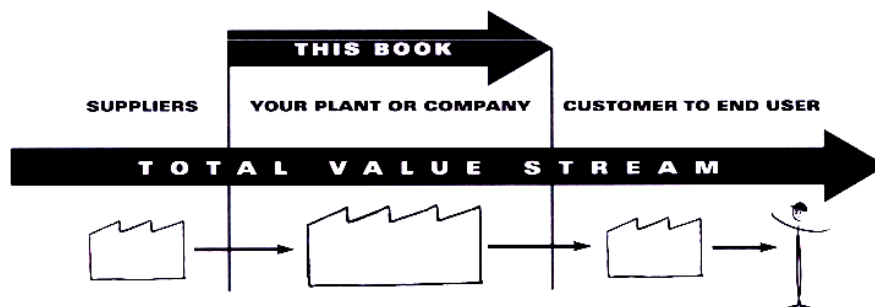


Figura 2 - Representação do fluxo total de valor (Rother & Shook, 2003)

De facto, o *Value Stream Mapping* (VSM), também designado por Mapeamento da Cadeia de Valor ganhou bastante popularidade no contexto empresarial pela forma como permite aumentar a transparência do fluxo de materiais e de informações dentro da cadeia de valor, permitindo, por isso, detetar e identificar desperdícios que impedem o fluxo contínuo de produtos ou de informação. A ferramenta consiste numa representação gráfica do fluxo de valor, desde o fornecedor até ao cliente final (Venkataraman et al., 2014) que permite a tomada de decisões com base numa visão generalizada do processo e não em processos individuais (Abdulmalek & Rajgopal, 2007). Além disso, divide as atividades dos processos

em duas grandes categorias: Atividades de Valor Acrescentado (VA) ou Atividades de Valor Não Acrescentado (NVA), que têm em consideração aquilo que o cliente está ou não disposto a pagar (Rohac & Januska, 2015).

O objetivo do VSM passa por definir um *target* onde são aplicadas melhorias e, quando possível, são eliminados os desperdícios do processo. Muitas vezes, essa otimização resulta na redução de *lead times* e na melhoria dos fluxos de produção (Mayr et al., 2018).

Tal como refere (Martins, 2014), esta ferramenta pode ser bastante útil para visualizar o processo como um todo e não como processos individuais, podendo ser analisado também o seu fluxo. Além disso, o mapeamento para além de permitir identificar os desperdícios, ajuda a identificar as suas fontes ao longo de toda a cadeia e pode ser a ferramenta base para a implementação de diversas ações de melhoria. De facto, o VSM é a única ferramenta que evidencia a relação entre os fluxos de material e de informação (Rother & Shook, 2003) tornando-a uma ferramenta bastante utilizada nas organizações.

METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO DO VSM

Rother & Shook (2003) consideram que a implementação do VSM deve seguir uma metodologia baseada em quatro etapas ilustradas na Figura 3.

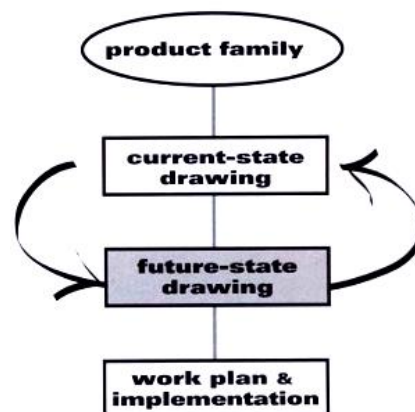


Figura 3 - Metodologia para a implementação do VSM (Rother & Shook, 2003)

A primeira etapa consiste na seleção de uma família de produtos que serão analisados no estudo. De facto, seria impraticável mapear todos os produtos ao nível do chão de fábrica de uma empresa, visto que implicaria o desenho de todos os fluxos dos produtos, quer de material como de informação, tornando-se numa tarefa demasiado complexa. Por isso, os autores do livro consideram que a escolha de uma família de produtos, que se caracteriza pela sua similaridade nos processos é a melhor estratégia a adotar para esta ferramenta (Rother & Shook, 2003).

Depois, segue-se a fase do desenho do mapa do estado atual, em que se deve procurar estudar o funcionamento do processo e transcrevê-lo para o papel, ilustrando os fluxos de informação e de materiais, utilizando a simbologia adequada (Anexo 1). Considera-se o mapeamento deve ser realizado, primeiramente do fluxo de materiais e representado na parte inferior do mapa da esquerda para a direita e, de seguida, o mapeamento do fluxo de informação que deve ser feito da direita para a esquerda na parte superior do mapa, indicando o fluxo de informação do cliente até à empresa e da empresa para o fornecedor (Rother & Shook, 2003).

O mapa do desenho atual também deve ser acompanhado de indicadores que sejam adequados para analisar o processo. Rother & Shook (2003) sugerem a utilização da seguinte informação sobre os processos:

- *Cycle Time (C/T)* – tempo que decorre entre a saída de uma peça de um processo e a saída da peça seguinte;
- *Changeover Time (C/O)* – tempo de preparação de uma máquina para a mudança de um produto para outro;
- *Uptime* – Percentagem de utilização de uma máquina sobre o tempo disponível;
- *Every Part Every (EPE)* – Frequência de produção de uma peça sem ultrapassar a capacidade disponível e com o menor lote possível;
- Número de operadores necessários para o processo;
- *Working time* - Tempo de trabalho disponível para o processo num determinado período, geralmente por turno, excluindo as paragens;
- *Scrap rate* – Percentagem de peças de sucata resultantes do processo.

O resultado desta fase deve ser um mapa semelhante ao da Figura 4, que deverá ser posteriormente analisado com detalhe para a identificação dos desperdícios e pontos a ser melhorados.

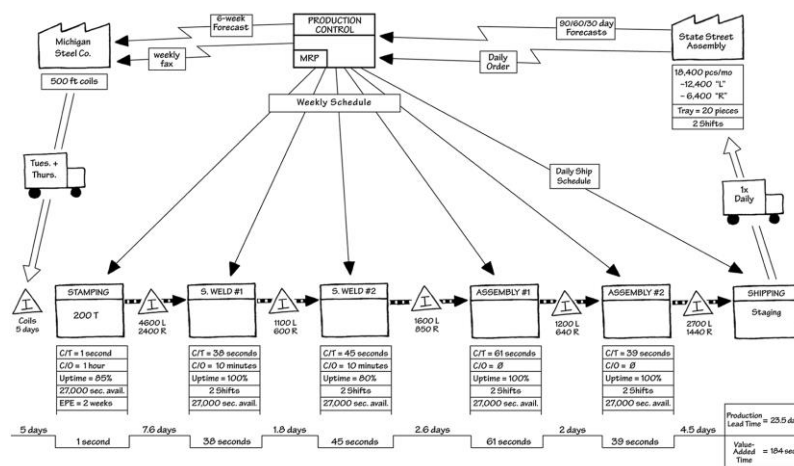


Figura 4 - Exemplo de um VSM do estado atual (Rother & Shook, 2003)

A fase seguinte é a de desenho do estado futuro, isto é, o estado que se pretende alcançar. Com base no pensamento *Lean*, Rother & Shook (2003) propõe um conjunto de *guidelines* que podem ser uma base de orientação para mapear o estado ideal do processo produtivo.

- **Produzir de acordo com o takt time** – O *takt time* representa o tempo que uma peça deve demorar a ser produzida para responder às necessidades do cliente. Pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tempo disponível para produção}}{\text{Procura do cliente}}$$

O *takt time* é usado para sincronizar o ritmo de produção com o ritmo de vendas, especialmente no processo *pacemaker*, e permite uma análise imediata do ritmo a que o processo deveria estar a produzir.

- **Desenvolver fluxo contínuo sempre que possível** – Entende-se como fluxo contínuo a produção de uma peça de cada vez, percorrendo as etapas de um processo sem qualquer tipo de interrupções nem desperdícios (esperas ou deslocações). Rother & Shook (2003) consideram que esta estratégia é a mais eficiente para um processo produtivo, no entanto, é sempre necessário ter em conta que a implementação de fluxo contínuo entre dois processos pressupõe a soma dos seus *lead times*. Desta forma, uma abordagem inicial mais vantajosa será a combinação de fluxo contínuo com um sistema *Pull*.
- **Implementar supermercados para controlar a produção** – Nem sempre é possível implementar fluxo contínuo num processo quer seja pela diferença de tempos de ciclo dos processos ou pelos elevados tempos de espera que tornam inviável a produção de uma peça de cada vez. Por isso, considera-se que a

implementação de supermercados pode ser algo vantajoso, já que o processo a montante trabalha num sistema *pull* para abastecer o supermercado que fornece o processo a jusante na cadeia.

- **Planear a produção apenas num processo** – A utilização de supermercados auxilia a transição para um planeamento da produção realizado apenas num processo, geralmente o *pacemaker*, isto é, o processo que dita o ritmo de produção dos restantes processos. É importante referir que a escolha do processo *pacemaker* deve ter em consideração a necessidade de um fluxo contínuo posterior e, por isso, este processo é frequentemente o que se encontra mais a jusante na cadeia de valor.
- **Nivelar o *mix* produtivo** – Muitas organizações planeiam a sua produção com grandes lotes de determinados produtos de modo a evitar *changeovers*. No entanto, essa estratégia pode não ser a mais adequada, sobretudo quando os clientes exigem diferentes produtos e, além disso, cria a necessidade de ter *stocks* de produto acabado maiores. O nivelamento da produção consiste numa redução da quantidade por lote dos diferentes produtos e intercalar a sua produção de modo a obter uma maior capacidade de resposta e manter os *stocks* reduzidos. No entanto, é importante que o nivelamento tende a criar mais *changeovers* e, portanto, é necessário encontrar um equilíbrio para as quantidades por lote de cada produto.
- **Nivelar o volume de produção** – É fundamental estabelecer um ritmo de produção consistente e nivelado que permita criar um fluxo de produção previsível. Para tal, o volume de produção no processo *pacemaker* deve ser regulado por um *pitch* que indica o intervalo de tempo necessário para produzir um *pack* de produto acabado, de acordo com a procura do cliente. Assim, a análise do desempenho da produção torna-se mais fácil e a quantidade de *stock* é mais reduzida.
- **Garantir “*Every part every ... (EPE)*”** – EPE remete para a frequência com que o processo muda para produzir todos os componentes, que pode ser diária, por turno, por hora ou até por *pitch*. Este conceito está diretamente ligado com o tamanho do lote, já que quanto menor este for, maior é a capacidade de o processo produzir todos os componentes. Muitas organizações optam, numa primeira fase, por adaptar a sua produção para “*every part every day*”, visto que este conceito implica uma gestão rigorosa dos *changeovers* e do tempo disponível para produção.

O mapeamento do estado futuro deve refletir a aplicação destas *guidelines* e das alterações necessárias no processo que geralmente são evidenciadas no próprio mapa, como visível na Figura 5.

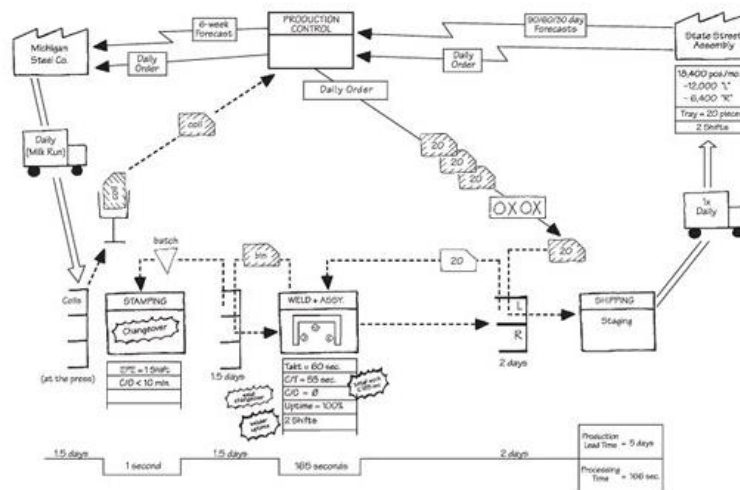


Figura 5 - Exemplo de um VSM do estado futuro (Rother & Shook, 2003)

Posteriormente, deve ser definido um plano de ações a implementar para atingir o estado futuro e concretizar as alterações necessárias no processo. Nesta fase, devem ser atribuídas um conjunto de tarefas a cada responsável para que se possam atingir os objetivos propostos.

II.1.3.2. SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIES (SMED)

O SMED, acrónimo para *Single Minute Exchange of Dies*, é um dos métodos mais conhecidos para a troca rápida de ferramentas e tem como principal objetivo analisar sistematicamente todas as tarefas executadas durante a troca de ferramentas (*setup*), para que essa troca possa ser simplificada e feita em muito menos tempo. Esta metodologia foi desenvolvida originalmente por *Shigeo Shingo*, consultor de engenharia industrial que trabalhou com a Toyota durante o período de desenvolvimento do TPS (King, 2009). O foco desta ferramenta na eliminação de desperdícios associados às trocas de ferramentas durante o *setup*, permite a redução do tamanho dos lotes e garante maior capacidade de resposta às exigências do cliente (Rosa et al., 2017). Além disso, pode ser uma ferramenta vantajosa na eliminação do desperdício inerente ao excesso de *stocks* e permite reduções no *lead time* (Rosa et al., 2017).

De facto, um aspeto fundamental desta metodologia diz respeito às suas características de atuação interna e externa. Todas as atividades de *setup* que não interferem diretamente no equipamento e que podem ser realizadas sem interromper a produção são designadas como atividades externas. Já as que impliquem a paragem dos equipamentos são descritas como atividades internas (Rosa et al., 2017).

Segundo King (2009) e Coimbra (2013), a metodologia SMED propõe cinco passos fundamentais:

- **Estudar a situação atual:** O primeiro passo deve consistir numa análise detalhada do método atual, em conjunto com a equipa que geralmente realiza os *setups*. Geralmente recorre-se a análise de tempos, gravações de vídeo ou até diagramas de esparguete para representar as movimentações inerentes à operação de *setup*.
- **Mover as tarefas externas para fora do tempo de *setup*:** Algumas das tarefas que são realizadas durante o *setup* podem efetivamente ser feitas antes que o equipamento seja desligado e a produção seja interrompida. Esse tipo de tarefas designadas por externas como, por exemplo, trazer as peças necessárias e novas para o equipamento ou já no fim do *setup* as tarefas de arrumar as peças e equipamentos utilizados, podem ser realizadas com o equipamento ligado, reduzindo drasticamente o tempo de troca.
- **Determinar se alguma das tarefas internas pode ser modificada:** É também fundamental perceber se as tarefas internas podem ser alteradas de alguma forma para que passem a ser realizadas como tarefas externas como, por exemplo, realizar a pré-montagem de um aparelho ou ferramenta que irá ser necessária, ou realizar pré-aquecimento de equipamentos ou materiais necessários antes de serem colocados no equipamento.
- **Simplificar as tarefas internas restantes:** Devem ser utilizadas técnicas de padronização de componentes para que o número de ferramentas necessárias seja o mínimo possível. Podem também ser desenvolvidos *poka-yokes* para garantir que o aparelho não possa ser instalado incorretamente.
- **Executar tarefas internas paralelamente, sempre que possível:** Se houver disponibilidade de operadores, pode ser vantajoso que estes executem diferentes tarefas internas em paralelo para reduzir o tempo de *setup*, sem aumentar a necessidade total de mão de obra.

Na Figura 6 é possível analisar o impacto da aplicação destes passos da metodologia SMED no tempo total de *setup*.

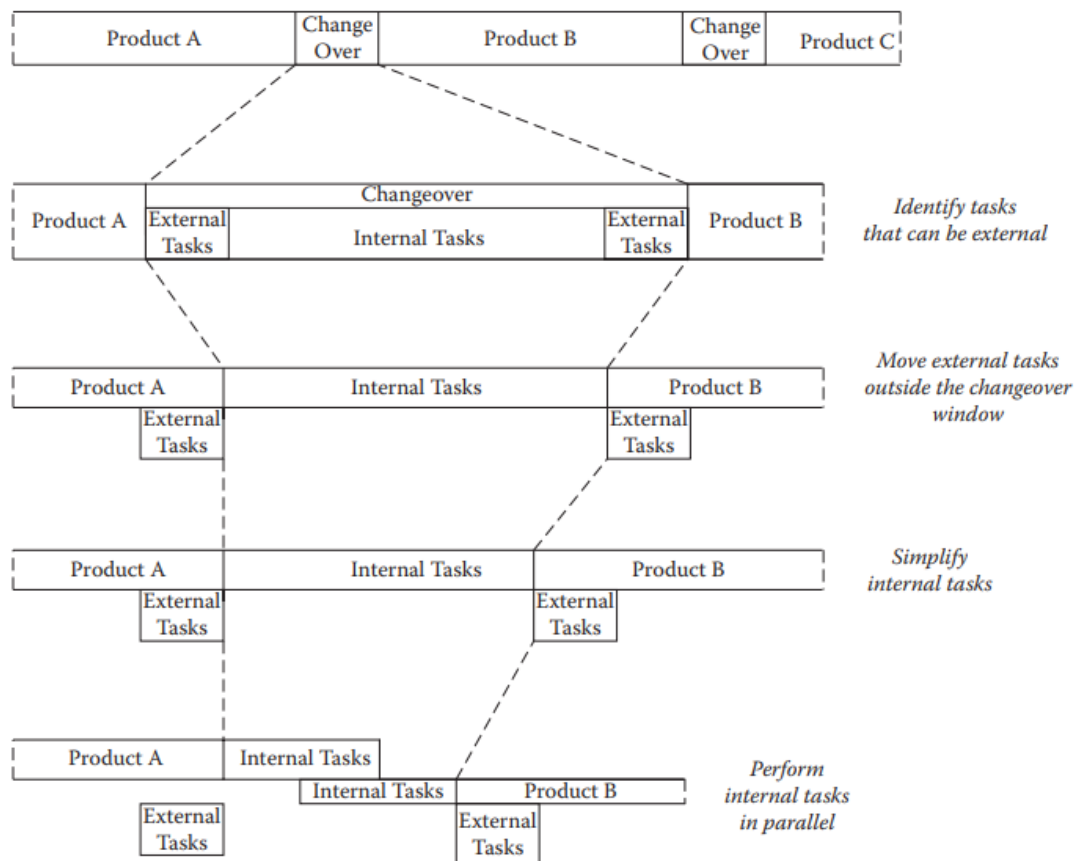


Figura 6 - Etapas principais de melhoria na metodologia SMED (King, 2009)

II.2. FLUXOS DE LOGÍSTICA INTERNA

Nos últimos anos, a logística interna deixou de ser vista apenas como a logística de distribuição e transporte, tornando-se uma parte fundamental do planeamento estratégico das empresas. A logística interna pode ser definida como a área que atua na movimentação de materiais e no suporte das operações dentro de uma empresa. Efetivamente, hoje em dia, considera-se que o sucesso das empresas pode ser ditado pela existência de uma logística interna otimizada, o que, na verdade, só é possível se todos os seus processos estiverem devidamente alinhados (Burganova et al., 2021).

De acordo com Coimbra (2013), o fluxo logístico interno integra a produção e a logística para que o sistema funcione de acordo com o *takt time* do cliente de forma sincronizada para fornecer produtos “*just in time*”. Os domínios do fluxo logístico interno podem ser divididos nos seguintes tópicos (Coimbra, 2013) (Figura 7):

- **Supermercados:** como organizar áreas de *picking* para contentores e todos os materiais e peças necessárias à produção;
- **Mizusumashi:** como transportar os contentores de forma rápida para o bordo de linha;

- **Sincronização:** como garantir a entrega de materiais e peças de forma sincronizada para áreas de *picking* ou para a produção;
- **Nivelamento:** como agendar as ordens de produção no processo *pacemaker*;
- **Planeamento *pull* da produção:** como configurar a capacidade produtiva e determinar as necessidades do cliente.

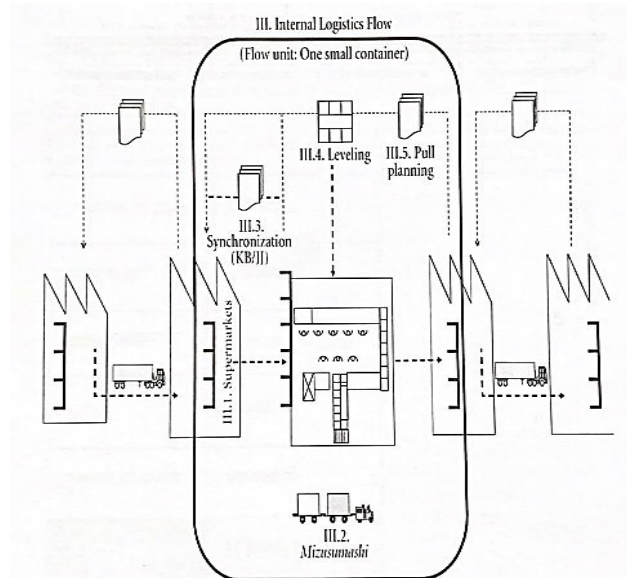


Figura 7 - Fluxos logísticos internos (Coimbra, 2013)

II.2.1. SINCRONIZAÇÃO

A sincronização está relacionada com mecanismos de informação utilizados para sinalizar ordens de produção ou necessidades de reabastecimento ou entrega de materiais ao posto de trabalho. Em ambientes *Lean*, a sincronização acontece no *gemba*, geralmente com dispositivos físicos de forma a incentivar a gestão visual (Coimbra, 2013).

O colaborador que utiliza as informações da sincronização é tipicamente o operador logístico responsável pelo *mizusumashi*, visto que é ele quem verifica a necessidade de movimentação de materiais ou peças para a produção (Coimbra, 2013). No entanto, em empresas em que não exista o conceito de *mizusumashi*, esta função pode ser atribuída à pessoa responsável por realizar os abastecimentos à linha de produção.

Desta forma, é fundamental garantir que a sincronização seja eficiente e que os seus utilizadores sejam capazes de o compreender e interpretar para garantir uma capacidade de resposta rápida, evitando falhas de materiais e peças à linha de produção (Coimbra, 2013).

Coimbra (2013) refere que os mecanismos principais de sincronização são o *kanban* e o *junjo*, que serão detalhados de seguida.

II.2.1.1. KANBAN

O termo *kanban*, de origem japonesa, significa “sinal” e remete para um pedido de reabastecimento baseado no consumo de um processo. Um *kanban* pode ser utilizado sob a forma de um cartão que pode ou não ser associado a um recipiente, por exemplo, uma caixa ou contentor (Coimbra, 2013).

De acordo com Coimbra (2013), o funcionamento de um ciclo de reabastecimento por *kanban* encontra-se ilustrado na Figura 8.

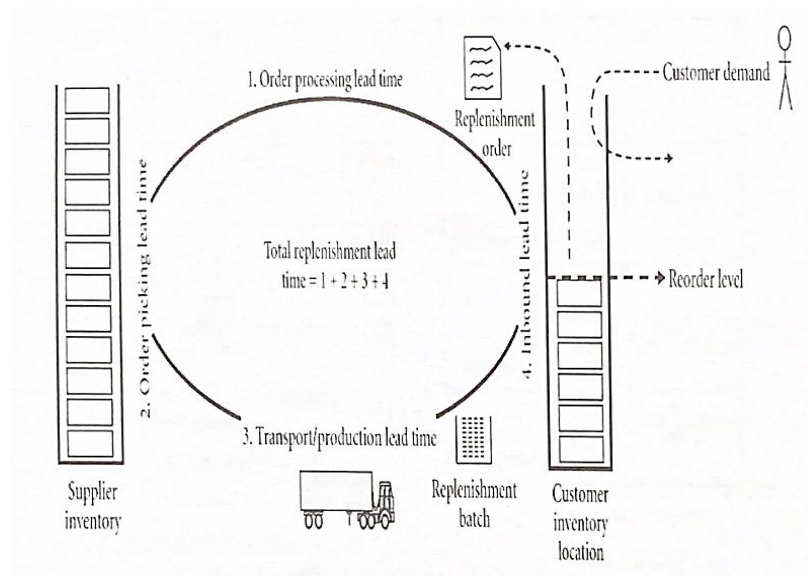


Figura 8 - Sincronização por Kanban (Coimbra, 2013)

Para que seja possível a sincronização por *kanban*, este autor considera que quando o nível de *stock* do supermercado cliente atinge o nível definido como nível de abastecimento, é enviado um *kanban* de reabastecimento de material para o supermercado fornecedor que processa esse pedido e, posteriormente, o material é associado ao *kanban* é transportado para o supermercado cliente. Para o dimensionamento do supermercado é fundamental ter em conta *stocks* de segurança para a procura do cliente, de modo a evitar ruturas de material, e também o *lead time* de reabastecimento, que é afetado pelo tempo de processamento do pedido, o tempo de *picking* do supermercado e pelo tempo de transporte (Coimbra, 2013).

Deste modo, o nível de abastecimento do supermercado pode ser obtido a partir da seguinte equação (Coimbra, 2013):

$$\text{Ponto de abastecimento} = \text{Procura durante o ciclo} + \text{Stock de Segurança}$$

Em que:

$$\text{Stock de Segurança} = \text{Variação da procura} + \text{Variação do Lead Time}$$

Além disso, no seu livro, Coimbra (2013) refere que dentro de uma cadeia de abastecimento de uma fábrica podem ser identificados seis tipos diferentes de ciclos logísticos *kanban*, ilustrados na Figura 9, que se subdividem em dois tipos: *kanban* de transporte ou *kanban* de produção.

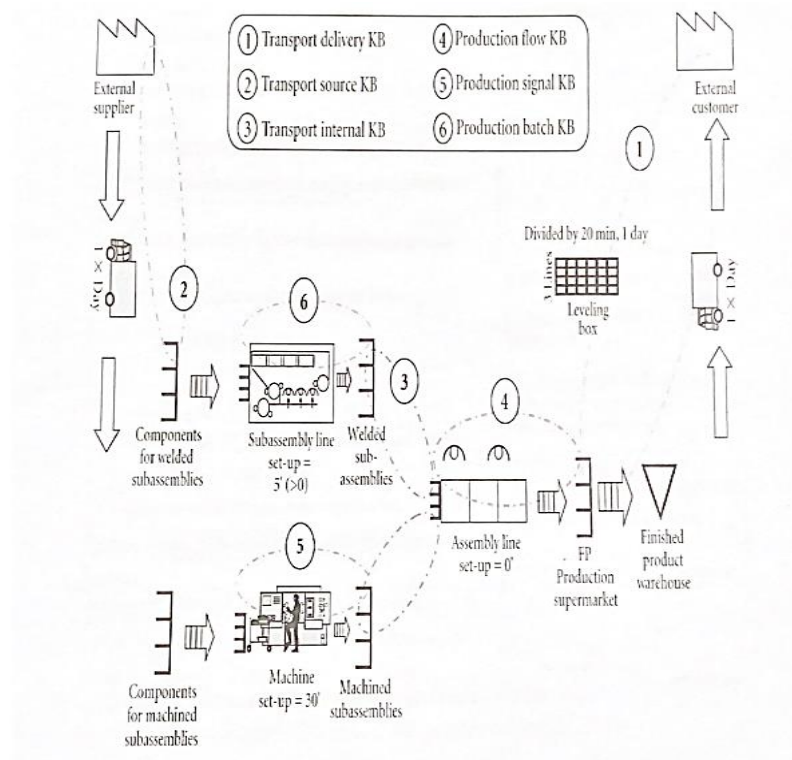


Figura 9 - Seis tipos de ciclos logísticos *kanban* (Coimbra, 2013)

Os três tipos de *kanbans* de transporte são (Coimbra, 2013):

- *Kanban* de entrega de transporte – recebido do cliente externo e entregue no supermercado de produtos acabados;
- *Kanban* de origem de transporte – enviado a um fornecedor e recebido no supermercado de componentes ou materiais;
- *Kanban* de transporte interno - utilizado em circuitos de abastecimento ao posto de trabalho.

Já os três tipos de *kanbans* de produção são (Coimbra, 2013):

- *Kanban* de fluxo de produção – passando por uma linha de produção ou máquina com um tempo de *setup* igual a zero;
- *Kanban* de sinal de produção – passando por uma linha ou máquina com um tempo de *setup* maior que zero e sem usar cartões *kanban* associados a um contentor ou caixa;
- *Kanban* de lote de produção - passando por uma linha ou máquina com um tempo de *setup* maior que zero e recorrendo a cartões *kanban* associados a um contentor ou caixa.

II.2.1.2. JUNJO

Junjo é uma palavra também de origem japonesa que significa “sequência” e consiste num mecanismo de abastecimento baseado na ordem em que determinados materiais ou componentes são necessários num posto de trabalho (Coimbra, 2013). O método *junjo*, também designado por método *just-in-sequence*, é utilizado quando há uma grande variedade de peças ou estas são de grandes dimensões e apresenta a grande vantagem de reduzir o espaço necessário no bordo de linha e também de reduzir o número de movimentações que o operador da linha necessita de realizar para fazer o produto (Coimbra, 2013). Neste método de abastecimento está frequentemente associado o conceito de sequenciador, que consiste numa escala temporal ou não onde são apresentadas as sequências de operações de produção ou transporte para o posto de trabalho de acordo com a procura do cliente (Figura 10). Além disso, o abastecimento *junjo* pode ser realizado por componentes unitários ou por *kits* de componentes, de acordo com a sequência de necessidades de produtos (Coimbra, 2013). No entanto, a grande desvantagem deste método quando comparado com o método de abastecimento por *kanban* consiste na necessidade da sequência de componentes durante o *lead time* ser fixa ou apresentar variações mínimas, o que pressupõe planeamentos de produção rigorosos e com poucas alterações pois, em caso contrário, o método não será eficaz (Coimbra, 2013).

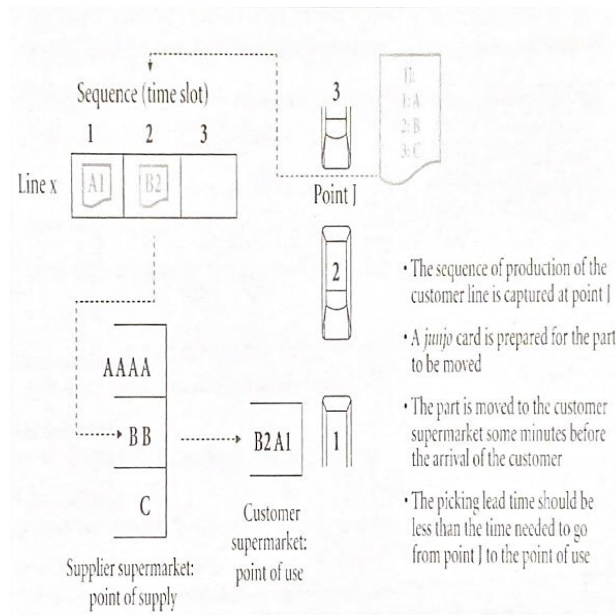


Figura 10 – Sincronização por Junjo (Coimbra, 2013)

II.3. IMPORTÂNCIA DA INTEGRAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA ERGONOMIA EM AMBIENTES *LEAN*

Cada vez mais as empresas enfrentam transformações organizacionais com o intuito de estarem na vanguarda do conhecimento e garantirem resposta às exigências do mercado. Muitas dessas transformações passam pela aposta numa visão mais *Lean*, em que o grande foco é fazer mais com menos (Nunes & Machado, 2007). No entanto, apesar das inúmeras vantagens desta filosofia, o pensamento de melhorar processos, reduzir desperdícios e até reduzir custos pode desvanecer a importância do fator humano numa organização. De facto, as estratégias *Lean* podem ser potenciadoras de um pensamento organizacional focado apenas em atingir altos níveis de eficiência e produtividade nos processos, podendo ser o motivo do ressurgimento da ideia em que o operador funciona quase como uma máquina. Esse tipo de pensamento é algo que é cada vez mais contrariado no contexto organizacional, mas a verdade é que a procura pela perfeição pode também influenciar o pensamento estratégico das empresas nesse sentido.

Por isso, é fundamental que a melhoria de processos não seja apenas centrada na eficiência, mas que também inclua o fator humano como parte dessa mudança (Nunes & Machado, 2007). De facto, a ergonomia pode ser intrínseca aos princípios *Lean*, já que a melhoria das condições de trabalho das pessoas, quer seja pela correção da postura de trabalho, pela redução de movimentos repetitivos ou redução de carga manuseada, pode contribuir para a sua satisfação e motivação com o trabalho e colaboradores motivados tendem a ser muito mais produtivos e eficientes (Nunes & Machado, 2007).

II.3.1. MÉTODO DA EQUAÇÃO DE NIOSH

A ocorrência de lesões resultantes de atividades de levantamento manual de cargas continua a ser um dos principais problemas de saúde e segurança que se ocorre em diversos contextos organizacionais (Waters et al., 1994), sobretudo no contexto industrial. Apesar de, atualmente, a ergonomia já ser algo que é visto como um tema importante, a maioria das organizações ainda não tem em consideração as questões ergonômicas na sua visão do negócio e, por isso, é fundamental a sensibilização para este tema.

Alguns profissionais na área de segurança e higiene no trabalho têm vindo a utilizar o método da equação de *Niosh* que é uma ferramenta, desenvolvida nos anos 80, que permite avaliar o risco de atividades de manuseamento de cargas, mais concretamente relacionada com o levantamento de cargas no posto de trabalho (Waters et al., 1994). O principal objetivo da equação é obter o Peso Limite Recomendado (PLR) ou *Recommended Weight Limit (RWL)* que se define como o peso máximo aceitável da carga que quase todos os trabalhadores saudáveis poderiam realizar durante um período substancial (por exemplo, até 8 horas de trabalho) sem o risco aumentado de desenvolver lesões músculo-esqueléticas (Waters et al., 1994).

A equação de *Niosh* é definida por Waters et al. (1994) como:

$$PLR \text{ (ou RWL)} = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \text{ [kg]}$$

Onde:

Tabela 1 - Parâmetros de cálculo do PLR

Abreviatura	Designação	Métrica
LC	Constante de carga	23 kg
HM	Multiplicador horizontal	(25/H)
VM	Multiplicador vertical	1 - (0.003 * V-75)
DM	Multiplicador de distância	0.82 + (4.5/D)
AM	Multiplicador de assimetria	1 - (0.0032 * A)
FM	Multiplicador de frequência	Do Anexo 2
CM	Multiplicador de pega	Do Anexo 3

Os parâmetros H, V, D e A, ilustrados na Figura 11, são definidos como:

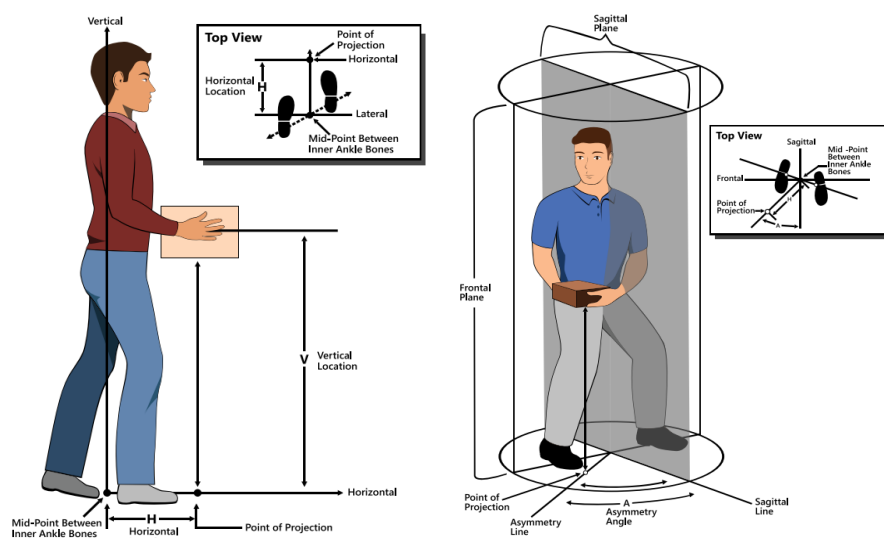


Figura 11 - Ilustração dos parâmetros da Equação de Niosh (Waters et al., 1994)

- H – Distância horizontal, em centímetros, entre o ponto médio de uma linha fictícia que une os tornozelos até ao ponto projetado no chão da posição média das mãos. Nos casos em que este valor não possa ser efetivamente medido, podem ser usadas as seguintes equações para estimar o seu valor:

Métrica (todas as distâncias em cm)

$$H = 20 + W/2 \text{ se } V \geq 25 \text{ cm}$$

$$H = 25 + W/2 \text{ se } V < 25 \text{ cm}$$

Nota: W representa a largura do objeto manuseado.

Podem ainda ser feitas as seguintes considerações para o multiplicador horizontal (HM):

- Se o valor de H for inferior a 25 cm, HM é considerado como 1;
- Se o valor de H for superior a 63 cm, HM é considerado como 0.
- D – Distância vertical, em centímetros, relativa à deslocação do objeto manuseado entre o ponto de início do manuseamento e o ponto de fim. Considera-se que o valor de D deve ser, no mínimo, igual a 25 cm e não deve ultrapassar os 175 cm.

- V – Define-se como a altura vertical das mãos em relação ao solo. Pode ser medida verticalmente do chão até o ponto médio entre as mãos, conforme ilustrado na Figura 11.
- A - Ângulo de rotação entre a linha de assimetria e a linha sagital média (Figura 11). A linha de assimetria é definida como a linha horizontal que une o ponto médio entre os tornozelos e o ponto projetado no solo diretamente abaixo do ponto médio entre as mãos. A linha sagital é definida como a linha que passa pelo ponto médio entre os tornozelos e a projeção no solo do plano sagital médio do trabalhador. Considera-se que o valor de A está limitado a um máximo de 135° pois, se este valor for superior, o multiplicador de assimetria (AM) é igual a zero e, conseqüentemente, o peso limite recomendado também é zero.

O multiplicador de frequência (FM) é definido por:

- Frequência de levantamentos - Número de elevações por minuto medidas durante um período de 15 minutos;
- Duração do trabalho - Tempo despendido nas atividades de elevação;
- Altura vertical das mãos relativamente ao solo (V).

Estes três fatores permitem obter um valor para o multiplicador de frequência a partir do Anexo 2.

O último fator considerado na equação de *Niosh* é o multiplicador de pega (CM). A natureza da pega pode afetar não só a força necessária que o trabalhador tem de exercer sobre o objeto, mas também a localização vertical das mãos durante o manuseamento. Idealmente, uma boa pega reduz a força necessária para manusear o objeto e, conseqüentemente, aumenta o peso aceitável para levantamento de cargas. Já uma má pega exige mais força para o manuseamento da carga e, por isso, o peso aceitável para o levantamento da carga tende a diminuir (Waters et al., 1994)

Desta forma, Waters et al. (1994) classificam os tipos de pega em três categorias: fácil, regular e difícil. A pega fácil pressupõe o manuseamento de um recipiente com “asas” ou um recipiente que permita que as mãos agarrem o objeto de forma segura. Uma pega regular acontece para um recipiente que tenha “asas” que não sejam adequadas à sua dimensão ou uma pega em que os dedos efetuem uma flexão de 90°. Por fim, pressupõe-se que uma pega é difícil quando implica o manuseamento de objetos com grande volume ou recipientes com dimensões irregulares.

Após a classificação do tipo de pega e tendo em conta a altura vertical das mãos relativamente ao solo (V), é possível determinar o valor do multiplicador de pega, com base no Anexo 3.

Com base nos valores obtidos para os diferentes multiplicadores, é possível calcular o Peso Limite Recomendado (PLR) para a tarefa ou conjunto de tarefas avaliadas e durante um determinado período, sem um risco aumentado de contração de lesões músculo-esqueléticas.

No entanto, a equação de *Niosh* também permite determinar o Índice Ergonómico (IE) ou *Lifting Index (LI)* que estima o nível de esforço físico associado a uma tarefa de elevação manual específica e permite aferir o risco de contração de lesões músculo-esqueléticas associada a essa mesma tarefa (Waters et al., 1994). Este índice pode ser obtido através do seguinte rácio:

$$IE \text{ (ou LI)} = \frac{\text{Peso da carga movimentada}}{\text{Peso Limite Recomendado}}$$

Assim, o valor obtido permite classificar o risco em três categorias: aceitável, médio e elevado:

- Se $IE \leq 1$, o risco da tarefa é aceitável, ou seja, a tarefa pode ser realizada pela maioria dos trabalhadores sem causar danos;
- Se $1 < IE < 3$, o risco é médio e a tarefa pode originar danos aos trabalhadores a médio/longo-prazo;
- Se $IE \geq 3$, o risco da tarefa é considerado elevado para a maioria dos trabalhadores, podendo originar lesões músculo-esqueléticas a curto prazo.

II.4. MEDIÇÃO DO TRABALHO

A medição do trabalho é um dos conceitos que ganhou bastante importância nos últimos anos, relacionado com as temáticas do *job design* e análise de métodos, já que pode ser uma ferramenta bastante útil para o planeamento estratégico de uma organização, sobretudo na fase de definição de novos projetos.

A medição do trabalho tem como objetivo determinar o tempo necessário para desempenhar determinada tarefa. De facto, este tipo de análise é fundamental para o planeamento da capacidade produtiva, planeamento da força de trabalho, estimar custos, calendarizar tarefas, comparar processos, orçamentar projetos e até para desenvolver sistemas de incentivo (Stevenson, 2017). Da perspetiva dos colaboradores, os padrões de tempo indicam a

quantidade de tempo esperada para fazer um trabalho e algumas tolerâncias para atrasos possíveis (Stevenson, 2017).

O tempo padrão pode ser caracterizado como o tempo que um trabalhador totalmente qualificado deve demorar para concluir uma tarefa específica, trabalhando com um ritmo eficiente e usando métodos, ferramentas, equipamentos e materiais específicos em locais de trabalho adequados para a sua realização (Stevenson, 2017).

Sempre que é desenvolvido um estudo de medição de trabalho e é determinado o tempo padrão para um determinado trabalho, é essencial fornecer uma descrição completa dos parâmetros associados, pois o tempo real para fazer uma tarefa pode ser facilmente alterado por vários fatores. Por exemplo, mudanças no *design* do produto ou mudanças no desempenho no trabalho provocadas por um estudo de métodos devem sempre desencadear um novo estudo para atualizar o tempo padrão. Na prática, nem sempre é viável para as organizações estarem constantemente a atualizar este tipo de dados, dado o elevado esforço e despesa que pressupõe, muitas vezes para uma pequena mudança. No entanto, este tipo de estudo deve ser feito com alguma regularidade para que possa ser uma informação útil para as empresas (Stevenson, 2017).

As organizações desenvolvem estudos para obter tempos padrão de várias maneiras distintas, destacando-se as seguintes: (1) estudo de tempos, (2) dados históricos, (3) tempos pré-determinados e (4) amostragem de trabalho. De seguida, será explicado com detalhe o método utilizado para este trabalho.

II.4.1. ESTUDO DE TEMPOS

O estudo de tempos, originalmente desenvolvido por Frederick Winslow Taylor no fim do século XIX, é um dos métodos mais comuns e usados para realizar estudos de medição de trabalho. Este método é especialmente útil para tarefas curtas e repetitivas, em que se pretende obter o tempo padrão baseado em observações e cronometragens de uma amostra de trabalho durante vários ciclos (Stevenson, 2017).

De acordo com Stevenson (2017), as etapas principais para desenvolver este tipo de estudo são as seguintes:

DEFINIÇÃO DA TAREFA A ESTUDAR E INFORMAR O COLABORADOR DA REALIZAÇÃO DO ESTUDO

O primeiro passo para a realização do estudo de tempos consiste na definição da tarefa a ser estudada. Além disso, é fundamental informar os operadores do objetivo do estudo e promover a sua interação para que não se sintam desconfortáveis e pressionados para alterarem a sua forma de trabalho (Stevenson, 2017).

DIVISÃO DA TAREFA EM UNIDADES ELEMENTARES DE TRABALHO (UET)

Após a escolha da tarefa a estudar, é necessário dividi-la em Unidades Elementares de Trabalho. A decisão do nível de detalhe destas tarefas deve ser tomada com base na precisão do estudo que se pretende alcançar (Heizer et al., 2017).

DECISÃO DO NÚMERO DE CICLOS A MEDIR (TAMANHO DA AMOSTRA)

O número de ciclos que devem ser medidos varia de acordo com três aspetos:

- Variabilidade dos tempos observados;
- Precisão desejada;
- Nível de confiança desejado para estimar o tempo da tarefa.

Stevenson (2017) considera que o número de ciclos (ou tamanho da amostra) pode ser determinado pela seguinte fórmula:

$$n = \left(\frac{Z \times s}{a \times \bar{x}} \right)^2$$

Onde:

n – Tamanho da amostra;

Z – Desvio padrão normal para o nível de confiança desejado;

s – Desvio padrão da amostra de tempos observados para cada UET;

a – Precisão desejada;

\bar{x} – Tempo médio da amostra.

O valor de Z pode ser calculado ou, de uma forma mais simples, obtido a partir da seguinte tabela:

Tabela 2 - Valores de Z de acordo com o nível de confiança (Stevenson, 2017)

Nível de confiança desejado (%)	Valor de Z
90%	1,65
95%	1,96
95,5%	2,00
98%	2,33
99%	2,58

De acordo com Stevenson (2017), se a precisão desejada for expressa numa medida do estudo em vez de uma percentagem, o tamanho da amostra pode ser calculado da seguinte forma:

$$n = \left(\frac{Z \times s}{e} \right)^2$$

Onde:

e – Precisão ou quantidade máxima aceitável de erro;

Desta forma, para uma primeira estimativa do tamanho da amostra, são geralmente realizadas entre 10 e 20 observações para se obter os valores de \bar{x} e s e determinar n . No final do estudo, o analista pode querer recalcular n , utilizando novos valores de \bar{x} e s com base no aumento dos dados disponíveis (Stevenson, 2017).

CRONOMETRAGEM DOS TEMPOS PARA CADA UET

A fase seguinte corresponde à recolha dos dados, através da cronometragem. Cada UET deve ser cronometrada de acordo com o tamanho da amostra definido e deve incluir diferentes operadores (previamente definidos). As cronometragens podem ainda ser contínuas – o cronómetro é acionado no início da tarefa e apenas desligado no final da tarefa – ou cada UET pode ser cronometrada individualmente (Heizer et al., 2017).

CÁLCULO DO TEMPO MÉDIO OBSERVADO

O tempo médio observado é a média aritmética dos tempos cronometrados para cada UET (Stevenson, 2017).

$$\text{Tempo Observado (OT)} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Onde:

$\sum x_i$ – Somatório das cronometragens efetuadas;

n – Número de observações.

DETERMINAÇÃO DO TEMPO NORMAL DE CADA UET E DA PERFORMANCE DO OPERADOR

O tempo normal é o tempo observado ajustado à performance do operador. Pode ser obtido a partir da seguinte fórmula (Stevenson, 2017):

$$NT_{UET} = OT \times PR$$

Onde:

NT_{UET} – Tempo normal de cada UET;

PR – Fator de performance.

O fator de performance permite fazer um ajuste do tempo observado com o tempo estimado para um operador desempenhar uma tarefa a um ritmo normal (Heizer et al., 2017). Além disso, Stevenson (2017) também afirma que outra razão para incluir este ajuste está relacionada com o facto de o operador estar a ser observado e poder realizar a tarefa a um ritmo diferente do normal.

Este valor deve ser atribuído pelo analista responsável pelo estudo. Um valor de 1,00 para o fator de performance indica que o operador está a trabalhar com um ritmo normal. Um valor de 0,9 indica que o ritmo do operador é 90% do ritmo normal, ou seja, está a trabalhar mais lentamente que o normal. Já um valor de 1,05 indica um ritmo ligeiramente mais acelerado que o normal (Stevenson, 2017).

DETERMINAÇÃO DO TEMPO NORMAL DA TAREFA

Após a determinação do tempo normal para cada UET, é necessário obter o tempo normal da tarefa que se obtém pela soma dos tempos normais de todas as UET (Heizer et al., 2017).

$$\text{Tempo Normal da Tarefa (NT)} = \sum NT_{UET}$$

DETERMINAÇÃO DO TEMPO PADRÃO DA TAREFA

O tempo normal é o tempo que um operador deve demorar para realizar determinada tarefa sem qualquer tipo de atrasos ou interrupções. Este valor não tem em consideração alguns fatores como a fadiga do operador, atrasos inevitáveis, pausas ou condições de trabalho. Por isso, o tempo padrão para determinada tarefa é o tempo normal ajustado a um fator de compensação que contempla os fatores abordados (Stevenson, 2017).

$$ST = NT \times AF$$

Onde:

ST – Tempo padrão da tarefa;

AF – Fator de compensação.

O fator de compensação é calculado a partir da seguinte fórmula:

$$AF = 1 + A$$

Onde:

A – Percentagem de compensação considerada para a tarefa.

A percentagem de compensação é frequentemente estabelecida entre os 4% a 7% do tempo total. No entanto este valor depende de situação para situação e, como tal, deve ser definido tendo em conta as condições reais de trabalho (Heizer et al., 2017). No Anexo 4 encontram-se os valores mais comuns de compensação para vários fatores que podem influenciar o desempenho do trabalho (Stevenson, 2017).

Capítulo III. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E CONTEXTUALIZAÇÃO

O presente projeto está integrado no estágio curricular realizado no Departamento de Melhoria Contínua na *Teijin Automotive Technologies* em Leça do Balio.

O foco deste projeto é na melhoria do processo produtivo de uma família de componentes que integra os *trailers* de camiões refrigerados. Os componentes em estudo são portas que protegem o sistema de refrigeração que controla a temperatura da mercadoria dentro do camião. Uma vez que fazem parte de um dos maiores projetos da empresa, esta família de produtos possui grande representatividade para o seu volume de negócios.

Assim, pretende-se que este projeto permita identificar melhorias no processo produtivo, com recurso a ferramentas e metodologias *Lean* que visam a eliminação de desperdícios, o aumento da eficiência dos processos e a redução de custos industriais.

III.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A *Teijin Automotive Technologies* Portugal S.A., antiga Inapal Plásticos S.A, é uma empresa com mais de 40 anos de experiência no setor automóvel, cuja principal atividade é a fabricação de componentes e sistemas em materiais compósitos termoendurecíveis e termoplásticos.



Figura 12 - *Teijin Automotive Technologies* Portugal S.A. (Leça do Balio)

No entanto, quando iniciou a sua atividade, em 1972, como Inapal S.A. na fábrica e sede em Leça do Balio, produzia peças e componentes em chapa metálica. Apenas na década de 90, a empresa investiu numa nova área de negócio, a moldação de materiais compósitos, entre eles o *Sheet Moulding Compound* (SMC). Mais tarde, em 1997, a empresa subdividiu-se em duas

entidades independentes: Inapal Plásticos S.A. e Inapal Metal S.A., que atualmente já não possuem qualquer ligação.

Ao longo dos anos, a Inapal Plásticos S.A. apresentou um crescimento sustentado e posicionou-se no mercado de uma forma competitiva, fruto da sua filosofia empresarial de foco no cliente. Como resultado do seu crescimento, em 2006, foi inaugurada uma nova unidade fabril no Parque Industrial *Volkswagen* Autoeuropa em Palmela. A sua experiência e conhecimento na área dos compósitos permitiu alcançar uma posição no mercado automóvel como fornecedor preferencial dos maiores *Original Equipment Manufacturers* (OEM).

Em 2018, a Inapal Plásticos S.A. passou a fazer parte do grupo multinacional *Teijin*, integrada no subgrupo *Continental Structural Plastics*.

Já no ano de 2021, nasce oficialmente a *Teijin Automotive Technologies* Portugal S.A., resultado da fusão de várias empresas do grupo *Teijin*. A empresa conta com cerca de 300 colaboradores nas suas unidades industriais em Portugal e possui as certificações do Sistema de Gestão Ambiental no âmbito da ISO 14001:2015, do Sistema de Gestão da Saúde e Segurança Ocupacional no âmbito da OHSAS 18001:2015 e do Sistema de Gestão da Qualidade Automóvel pela IATF 16949:2016.

Atualmente, a empresa possui como visão e missão uma filosofia que visa gerar uma capacidade de gestão sustentada, para exceder as expectativas do cliente, sendo competitivo no mercado utilizando técnicas de monitorização, *benchmarking* e melhoria contínua.

III.2. PRODUTOS

A *Teijin* Portugal produz uma grande variedade de produtos nas suas unidades fabris, apresentando-se na Tabela 3 alguns exemplos:

Tabela 3 - Produtos fabricados pela Teijin Portugal

Descrição	Produtos	Aplicação
Portas de Sistema de Refrigeração (Unidade de Leça do Balio)		
Trunk Lid Mercedes AMG (Unidade de Palmela)		
Painel Lateral I8 (Unidade de Leça do Balio)		

III.3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Tal como já mencionado, a família de produtos em estudo neste projeto são as portas que integram o sistema de refrigeração dos veículos pesados. Estas peças fazem parte de dois grandes projetos da empresa, o projeto Vector e o projeto HEV. Na Tabela 4 encontram-se divididas as peças em estudo pelo respetivo projeto e de acordo com as suas designações mais comuns.

Tabela 4 - Peças incluídas em cada projeto

Projeto Vector	Projeto HEV
P458	
P459	PHEVCD
P460	PHEVCE
P461	PHEVLD
P462	PHEVLE
P463	

No esquema seguinte encontra-se representado um resumo do processo produtivo dos quatro produtos, que será detalhado em seguida.



MOLDAÇÃO E APLICAÇÃO DE INSERTOS

O processo inicia-se com um pedido do cliente que desencadeia uma ordem de produção. Dessa forma, após o processo de planeamento, a matéria-prima (*Sheet Moulding Compound – SMC*) sai do armazém e é colocada em rolos junto ao respetivo posto trabalho da moldação. Após o corte da quantidade de fibra necessária, os operadores colocam a fibra no molde. A peça, depois de moldada, é retirada do molde pelo operador e é feita a sua rebarbagem. Posteriormente, são feitos os furos necessários e colocados insertos. Depois de finalizado o trabalho neste posto, os operadores colocam as peças num contentor específico, que segue para um armazém intermédio. Desta forma, as peças ficam a aguardar a próxima fase do processo.

PINTURA CLÁSSICA

Seguidamente, o contentor é encaminhado para o posto de pintura onde os operadores retiram cada peça do contentor e efetuam um despolimento da superfície visível das mesmas. Depois disso, colocam as peças num *rack* pertencente a uma corrente que as irá encaminhar para um banho desengordurante e, posteriormente, para um túnel de lavagem com água fria.

De seguida, as peças seguem um segundo túnel de lavagem, no entanto já com água desmineralizada. Após estas etapas, passam por um túnel de secagem e seguem para a primeira câmara de pintura. Nessa câmara encontra-se um operador que pinta com *spray* uma peça do *rack*.

Quando as peças chegam à segunda câmara de pintura, um outro operador pinta a restante peça da face oposta do *rack*. Depois de pintadas, as peças seguem na corrente para um túnel de polimerização.

Após todo o circuito, que dura cerca de duas horas, as peças regressam ao ponto inicial onde os restantes operadores as retiram da corrente, realizam uma inspeção visual e colocam no respetivo contentor.

Depois desta etapa, as peças são novamente direcionadas para um armazém intermédio onde ficam a aguardar a próxima fase.

MONTAGEM E EMBALAGEM

Já na montagem, a peça chega em contentores específicos que são direcionadas para dois postos de trabalho distintos conforme a sua designação. Por exemplo, as Portas HEV Centrais Esquerdas e as Portas HEV Laterais Esquerdas seguem para a banca de montagem apenas de Portas Esquerdas. O processo segue o mesmo raciocínio para as restantes duas portas (Portas HEV Centrais Direitas e Portas HEV Laterais Direitas).

Assim que as peças chegam ao respetivo posto de montagem, são colocadas em suportes específicos. Em primeiro lugar são colocados vedantes e, seguidamente, as dobradiças com os respetivos parafusos. Depois disso, o operador tem de validar a montagem com recurso a um sistema de visão artificial que faz uma verificação da presença dos componentes na peça. Se estiver tudo em conformidade com o especificado, o sistema emite uma luz verde e permite a impressão da etiqueta de acompanhamento das peças no contentor. O operador deve, depois deste processo, colocar as peças no contentor e seguir os procedimentos dos descritivos de embalagem.

EXPEDIÇÃO

Depois do processo de montagem e embalagem, as peças seguem, já no contentor final, para o armazém de expedição onde irão aguardar até serem expedidas.

Capítulo IV. CASO PRÁTICO: PROPOSTAS DE MELHORIA

Neste capítulo encontram-se apresentadas as propostas de melhoria desenvolvidas ao longo do projeto. O trabalho apresentado consiste em três propostas de melhoria que pretendem solucionar os diferentes tipos de desperdícios identificados e, através de práticas *Lean*, melhorar a eficiência e qualidade e reduzir custos inerentes ao processo produtivo.

IV.1. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA VALUE STREAM MAPPING (VSM)

O *Value Stream Mapping* é uma das várias ferramentas *Lean* que são frequentemente aplicadas em contexto industrial, pois permite, de uma forma relativamente simples e rápida, conhecer toda a cadeia de valor de um produto e visualizar desperdícios evidentes no processo. Apesar de ser uma ferramenta estática, funcionando praticamente como uma fotografia do processo num determinado momento, o VSM também ser útil na identificação de atividades que não acrescentam valor, que muitas vezes não são perceptíveis com outro tipo de análise.

Visto que o desafio proposto para o projeto estava relacionado com a eliminação de desperdícios e melhoria do processo aliado à redução de custos, considerou-se pertinente a aplicação do VSM para uma família de produtos com maior representatividade no volume de negócio da empresa.

Efetivamente, é cada vez mais importante que as empresas tenham conhecimento do estado dos seus processos e que consigam perceber se estes estão a ir de acordo com o esperado para que se possa saber onde e quando se deve atuar. No entanto, a maior parte tem conhecimento dos dados dos processos, mas de forma isolada, o que muitas vezes não permite tirar conclusões ou entender onde está realmente o verdadeiro problema. Por isso, o VSM, além de todas as outras vantagens, facilita essa integração da informação de toda a cadeia produtiva e fornece uma visão global do processo, o que nem sempre é fácil de conseguir.

Além disso, visto que a empresa não tem como hábito o uso desta ferramenta para analisar os seus processos, foi mais um dos motivos que levou à sua implementação, pois poderá ser o ponto de partida para a identificação de diversas oportunidades de melhoria.

IV.1.1. METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia utilizada para a aplicação do VSM teve como base a metodologia sugerida por Rother & Shook (2003):

- Seleção da família de produtos;
- Desenho do mapa do estado atual;
- Identificação de desperdícios no processo;
- Desenho do mapa do estado futuro;
- Elaboração de um plano de ações.

IV.1.2. MAPEAMENTO DO ESTADO ATUAL

Efetivamente, antes da implementação de quaisquer melhorias num processo, é necessário conhecer bem o processo e perceber como funciona na realidade. Por isso, a primeira etapa para a implementação desta ferramenta é o mapeamento do estado atual do processo. Tendo isso em conta, no início do projeto, foram realizadas diversas reuniões com vários departamentos da empresa com o intuito de compreender a sua interligação, funções principais e relevância para o processo em estudo.

RECOLHA DE INFORMAÇÃO

Após esta fase, foi necessário recolher toda a informação necessária para a elaboração do mapa do estado atual. Para tal, considerou-se um horizonte temporal de três meses – outubro, novembro e dezembro do ano 2021. Esta decisão teve em consideração os fatores externos ou internos que podem fazer variar os volumes de produção mensais, como a procura do cliente ou o número de dias de trabalho num mês. Deste modo, a escolha de uma amostra maior de dados permite uma análise mais abrangente e precisa da realidade produtiva.

A recolha de informação envolveu a análise dos dados da produção, disponíveis num ficheiro *Excel* que reúne a informação existente nas fichas de produção, mas também foi utilizado o *software Infor LN*, o *ERP* utilizado pela empresa.

CLIENTES E FORNECEDORES

A construção de um VSM inicia-se sempre pela análise do fluxo de valor do cliente até à empresa. Neste caso, o cliente realiza as suas encomendas numa base mensal, com base nas suas previsões de produção. No entanto, o departamento logístico recebe semanalmente a confirmação dos pedidos que podem ter de ser ajustados face ao plano

previamente definido. Esta comunicação entre o cliente ocorre maioritariamente por *EDI* (*Electronic Data Interchange*). Depois de definido o planeamento de produção que atualmente é realizado com recurso a um ficheiro *Excel*, a logística elabora também o planeamento das necessidades de materiais e comunica ao departamento de compras que é responsável pelo contacto com fornecedores e pela aquisição de materiais. Este departamento tem de planear as encomendas tendo em conta os tempos de transporte, que geralmente são três dias, e o prazo de validade da matéria-prima que é bastante reduzido, não podendo haver excesso de *stock* na fábrica. Diariamente chega à empresa um camião com cerca de cinco toneladas de rolos de *Sheet Moulding Compound* (SMC) que são descarregados para o armazém de SMC com temperatura controlada. Para se obter a quantidade de matéria-prima em *stock* foi efetuado o seguinte cálculo:

$$\text{Stock MP [dias]} = \frac{\text{Stock médio de MP no armazém}}{\text{Consumo médio de MP/peça} \times \text{Procura diária}}$$

Deste modo, foi possível concluir, a partir da análise dos dados da produção, que a matéria-prima existente em *stock* seria suficiente para satisfazer a produção durante, aproximadamente, 4,4 dias.

PROCESSO PRODUTIVO

A recolha da informação para o fluxo de materiais foi dividida em duas partes: a análise e tratamento de dados para cada um dos processos e a análise e tratamento de dados para contabilizar o *stock* existente entre processos.

Em primeiro lugar foi calculada a cadência de cada processo, também conhecida por taxa de produção, de acordo com o seguinte cálculo:

$$\text{Cadência [pcs/h]} = \frac{\text{Total de peças produzidas}}{\text{Tempo produtivo}}$$

O tempo produtivo é resultante da diferença entre o tempo total de produção e as paragens realizadas. Este cálculo foi realizado para todos os dados da produção dos três meses e foi feita uma média para cada processo, tendo-se obtido os dados da Tabela 5.

Tabela 5 - Cadências dos processos

	Moldação	Pintura	Montagem
P458	16,15	32,84	18,27
P459	16,15	29,34	18,14
P460	16,34	30,83	22,82
P461	16,34	28,98	22,98
P462	18,65	26,97	24,26
P463	18,65	32,59	23,13
PHEVCD	16,38	52,61	13,66
PHEVCE	17,36	56,77	13,63
PHEVLD	14,17	35,59	21,41
PHEVLE	13,81	30,57	20,97
	16,40	35,71	19,93

Uma vez que o tempo de ciclo (C/T) pode ser considerado o inverso da taxa de produção, obtiveram-se os seguintes dados para cada processo (Tabela 6).

Tabela 6 - Tempos de ciclo e tempos de setup

	Cadência [pcs/h]	C/T [min]	C/O [min]
Moldação	16,40	3,66	180
Pintura	35,71	1,68	12,93
Montagem	19,93	3,01	13,82

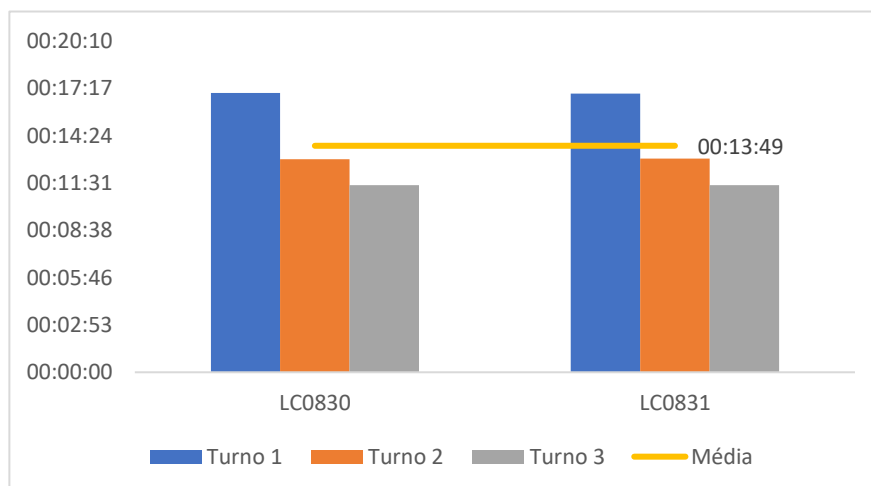


Figura 13 - Duração média do setup por turno no processo de montagem

Relativamente ao tempo de *setup* (C/O), este foi calculado com base na média das paragens para *setup* registadas nas fichas de produção. A Figura 13 é um exemplo da análise feita à duração média do *setup* nos postos de trabalho, neste caso no processo de montagem. Através da análise dos valores obtidos na Tabela 6, pode verificar-se que a atividade mais crítica é no processo de moldação, uma vez que implica a movimentação de moldes de grandes dimensões para este tipo de peças.

Num VSM é fundamental que os indicadores ilustrem a realidade do processo. Para tal, considerou-se importante calcular a taxa de rejeições de cada processo, que se obteve a partir do seguinte cálculo:

$$\text{Taxa de Rejeições [\%]} = \frac{\text{Total de peças rejeitadas}}{\text{Total de peças produzidas}}$$

As peças rejeitadas em cada processo, dependendo do motivo pelo qual foram rejeitadas, podem vir a ser recuperadas, evitando-se um número elevado de peças sucateadas. Por isso, este indicador apenas permite tirar conclusões sobre qualidade à primeira, isto é, a quantidade de peças boas que o processo produz sem necessidade de retrabalho.

Assim, este indicador permitiu verificar que o processo crítico a nível de qualidade é, sem dúvida, o da pintura, com uma taxa de rejeição média de 8,82% quando comparado com os restantes processos analisados no VSM. No entanto, durante a análise do processo no chão de fábrica, foi possível verificar que uma parte dessas rejeições acontece durante a inspeção visual na zona de entrada das peças na corrente de pintura, indicando que deveriam ter sido detetadas e rejeitadas no processo anterior, a moldação.

O último indicador calculado para a análise dos processos foi o da disponibilidade, obtido por:

$$\text{Disponibilidade [\%]} = \frac{\text{Tempo total de produção} - \text{Paragens realizadas}}{\text{Tempo total de produção}}$$

A disponibilidade tem em conta todos os eventos que interrompem a produção por tempo suficiente para serem contabilizados como paragens. As paragens realizadas podem ser planeadas (como, por exemplo, intervalos ou *setups*) ou não planeadas (como, por exemplo, avarias ou falhas no processo).

Num processo produtivo, é também muito difícil implementar um fluxo contínuo desde o início até ao fim, havendo a necessidade de criar *stocks* intermédios. De facto, este processo não é exceção, visto que a sua produção, apesar de ser planeada numa lógica *pull*, ou seja, a procura do cliente dita o ritmo da produção, cada processo produz conforme as ordens de produção planeadas e as peças são mantidas em *stock* intermédio até que

haja necessidades de produção no processo seguinte. Este tipo de estratégia pressupõe elevados níveis de *stock* para a empresa, acarretando custos e, no caso específico destas peças pelas suas dimensões, também tem implicações a nível de espaço ocupado no chão de fábrica.

Tendo isto em conta, os níveis de *stock* também foram considerados nesta análise inicial visto que são fundamentais para o cálculo do *lead time* do processo. Para tal, selecionou-se uma semana para realizar o acompanhamento diário das quantidades de *stock* intermédio entre cada posto, sendo que os dados obtidos refletem uma média dos valores observados. Todas as informações foram retiradas com base em relatórios de *stock* diários recolhidos a partir do ERP da empresa. Para obter o valor do *stock* em dias, recorreu-se ao seguinte cálculo:

$$\text{Stock [dias]} = \frac{\text{Média da quantidade em stock diária}}{\text{Média da procura diária}}$$

A média da procura diária nessa semana foi de 600 peças/dia e as quantidades médias em *stock* entre cada processo estão representadas no VSM na Figura 14.

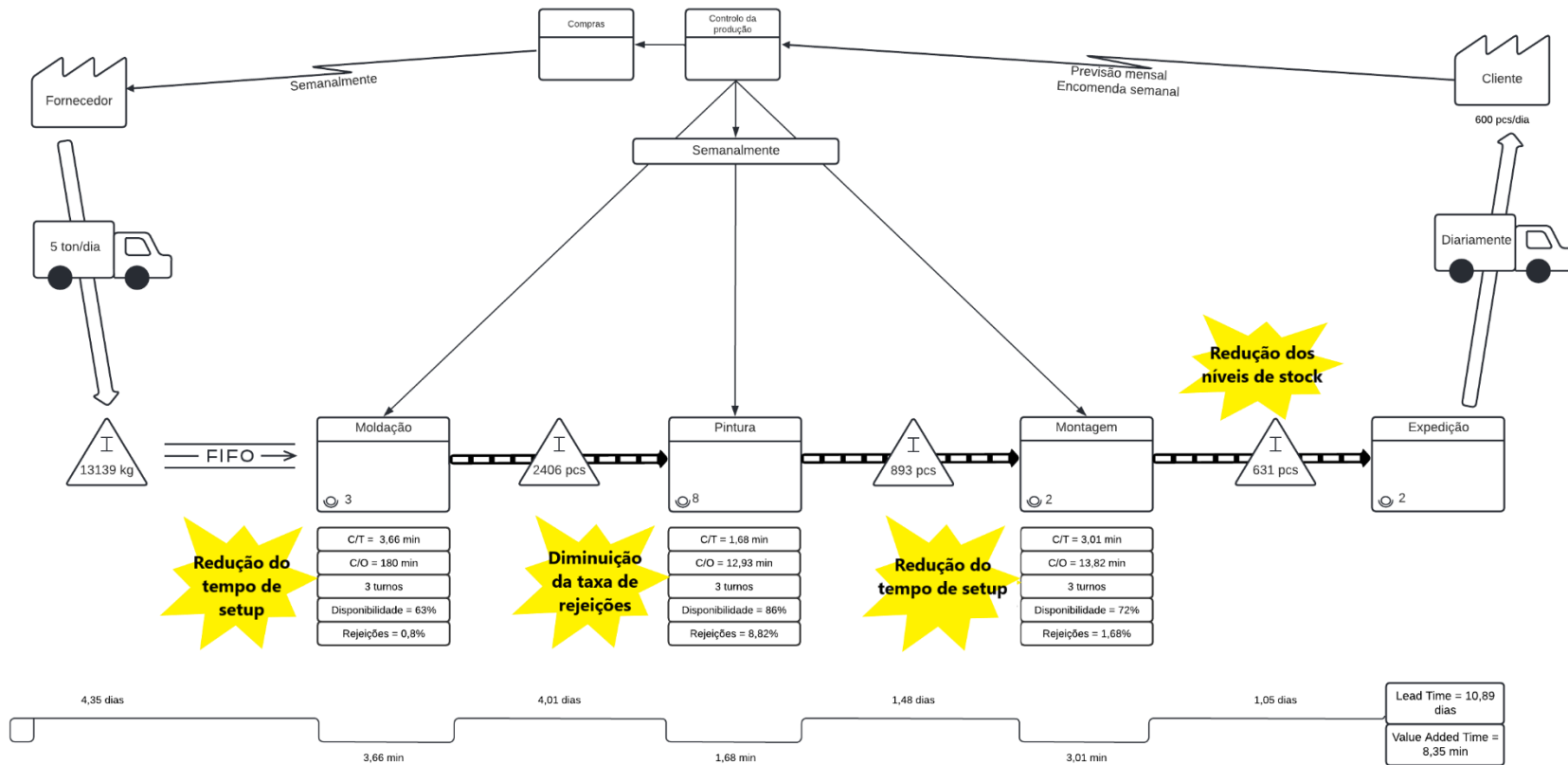


Figura 14 - VSM do estado atual

Como resultado do mapeamento do processo atual, pode então concluir-se que o *lead time* do processo equivale a 10,89 dias, ou seja, uma peça demora 10,89 dias a ser produzida, mesmo que o processo apenas demore 8,35 min, correspondentes a atividades de valor acrescentado, ou seja, a tempo que o cliente está realmente disposto a pagar. Isto permite concluir que apenas 0,1% das atividades no processo são de valor acrescentado. Efetivamente, a grande diferença entre as atividades de valor acrescentado e o *lead time* total do processo deve-se ao nível elevado de *stock* de matérias-primas, *work-in-progress* (*WIP*) e produto acabado existentes.

IV.1.3. OPORTUNIDADES DE MELHORIA IDENTIFICADAS

Efetivamente, o VSM é uma ferramenta que permite facilmente identificar vários tipos de desperdícios em toda a cadeia de valor sobretudo quando estão diretamente relacionados com o processo produtivo. No entanto, muitos outros tipos de desperdícios podem ser identificados durante a fase de elaboração do VSM do estado atual, pois pressupõe uma análise detalhada de dados, várias caminhadas pelo *gemba* para observação dos processos e ainda a interação com os trabalhadores pode ser um *input* para identificar desperdícios que não seriam facilmente detetáveis por quem não lida diretamente com o processo.

Durante a fase de elaboração do VSM do estado atual foi possível identificar vários desperdícios na cadeia de valor da família de produtos em estudo e as respetivas oportunidades de melhoria, que se encontram representadas a amarelo, com o símbolo de “*Rajada Kaizen*”, no diagrama (Figura 14). Na Tabela 7 encontram-se listadas essas oportunidades de melhoria e possíveis ações a tomar, que serão detalhadas de seguida.

Tabela 7 - Oportunidades de melhoria identificadas e respetivas ações a implementar

Oportunidade de melhoria	Ação
Redução do tempo de <i>setup</i> na moldação	Implementar SMED
Diminuição da taxa de rejeições de pintura	Análise de causas e respetivas ações a tomar
Redução do tempo de <i>setup</i> na montagem	Melhoria do sistema de abastecimento
Redução dos níveis de <i>stock</i>	Implementar supermercados ou fluxo contínuo quando possível

REDUÇÃO DO TEMPO DE *SETUP* NA MOLDAÇÃO

Durante a fase de recolha de dados, foi possível verificar que o tempo de *setup* no processo de moldação era bastante extenso e complexo. De facto, podem ser identificados vários tipos de desperdícios inerentes a esta tarefa. O principal é o desperdício de tempo que se caracteriza como tempo improdutivo, pois apesar de ser uma tarefa essencial na produção, quanto mais longa for, menor será o tempo disponível para produção. No entanto, King (2009) afirma que outro desperdício bastante comum é a sobreprodução, visto que quanto mais longo for o tempo de *setup*, maior será a tendência para produzir em grandes lotes antes de trocar para o produto seguinte. Além disso, a sobreprodução tende a desenvolver grandes níveis de *stock*, quer de *WIP* como de produto acabado e, no caso de não existir espaço suficiente para armazenar todo o material, é possível que também se incorra no desperdício de movimentação, caso a armazenagem tenha de ser feita num local remoto antes de passar ao processo seguinte (King, 2009).

Efetivamente, diversos autores na literatura propõem a aplicação da metodologia SMED para reduzir o tempo de *setup* no processo e são inúmeros os casos de sucesso desta metodologia. Por isso, acredita-se que a aplicação dos princípios inerentes à metodologia SMED teriam um impacto significativo na redução do tempo de troca de ferramenta.

De acordo com Coimbra (2013), o primeiro passo para iniciar esta análise deve ser a constituição de uma equipa multidisciplinar. Essa equipa deve incluir os operadores que trabalham diretamente na troca de referência, que poderão ser operadores da produção ou

operadores especializados da manutenção. Além disso, todos os departamentos que estejam direta ou indiretamente envolvidos na tarefa de *setup* devem participar na implementação da metodologia SMED.

O passo seguinte consiste num estudo detalhado da situação atual, ou seja, a equipa deverá perceber como é que o *setup* funciona atualmente, visualizar diretamente no chão de fábrica o funcionamento do processo, recolher tempos de cada tarefa do *setup*, realizar registos fotográficos e analisar a movimentação necessária para desempenhar as tarefas, que pode ser feito através da aplicação de outras ferramentas *Lean* como, por exemplo, diagramas de esparguete (Coimbra, 2013).

Após a recolha dos dados necessários, é necessário identificar os dois tipos de atividades no *setup*: internas ou externas. As atividades internas são aquelas que implicam a paragem da máquina. Já as atividades externas são aquelas que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento. Assim, todas as tarefas detalhadas no passo anterior deverão ter uma classificação deste género e, de seguida, todas as tarefas externas devem ser organizadas e colocadas no início ou no fim do processo. Já as tarefas internas devem ser revistas e organizadas numa nova sequência de operações, caso seja considerado algo necessário pela equipa. Ainda nesta fase, os operadores devem receber treino e formação para o novo padrão de tarefas (Coimbra, 2013).

Outra consideração da metodologia SMED é a conversão das atividades internas em atividades externas. A equipa deverá analisar com detalhe todas as tarefas internas atuais e perceber se com algumas melhorias, essas tarefas poderão passar a ser tarefas externas (Coimbra, 2013). Neste caso em específico, uma sugestão de alteração que teria bastante impacto no tempo de *setup* seria transformar a tarefa de aquecimento do molde, que atualmente é uma tarefa interna, numa tarefa externa, apostando num equipamento de pré-aquecimento do molde.

No entanto, não é possível transformar todas as tarefas internas em tarefas externas e, por isso, é fundamental que a melhoria do *setup* passe também pela redução do tempo das tarefas internas. Desta forma, podem ser aplicadas medidas nesse sentido como, por exemplo, a redução dos tempo de ajuste através da padronização de ferramentas (Coimbra, 2013).

Efetivamente, Coimbra (2013) considera que também a duração das tarefas externas pode ser alvo de melhoria, nomeadamente através da alteração do local de armazenamento das ferramentas para o mais próximo do equipamento possível, o que reduziria bastante as deslocações efetuadas e, conseqüentemente, o tempo despendido.

Além disso, King (2009) sugere outro passo na metodologia SMED, que consiste na execução das tarefas internas de forma paralela, ou seja, se houver disponibilidade de operadores, pode ser vantajoso que estes executem diferentes tarefas internas em paralelo para reduzir o tempo de *setup*, sem aumentar a necessidade total de mão de obra.

Em suma, o sucesso da metodologia SMED é notório e pode ser comprovado pelos resultados atingidos por Shigeo Shingo que revelaram reduções significativas do *setup* em cerca de 95% nas máquinas de moldação de plástico (Shingo, 1985). Por isso, considera-se que a aplicação desta metodologia no processo de moldação seria vantajosa, pois além da redução do tempo de *setup*, muitas outras melhorias poderiam posteriormente ser alcançadas como, por exemplo, maior disponibilidade para produção, capacidade de redução do tamanho do lote produtivo e redução de níveis de *WIP*.

DIMINUIÇÃO DA TAXA DE REJEIÇÕES DE PINTURA

Pela análise dos dados de produção, foi possível verificar uma elevada taxa de rejeições de peças na pintura clássica, de cerca de 8,82% nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2021. As peças podem ser rejeitadas antes de serem pintadas, durante a fase de preparação, ou apenas serem detetados defeitos à saída da linha de pintura, quando passam por uma inspeção visual. De facto, foi possível observar que a maioria das rejeições acontece já depois das peças serem pintadas e, muitas vezes, o defeito indicado tem origem no processo anterior, o que indica que não está a ser feita uma correta inspeção visual das peças na entrada da linha de pintura.

No entanto, de modo a identificar as possíveis causas dos defeitos, é necessário perceber, em primeiro lugar, quais os principais defeitos que estão na origem das rejeições. Para tal, elaborou-se um Diagrama de Pareto, Figura 15, que permitiu concluir que cerca de 29% dos principais defeitos são devidos à presença de crateras na peça e 27% são referentes a lixo presente na peça.

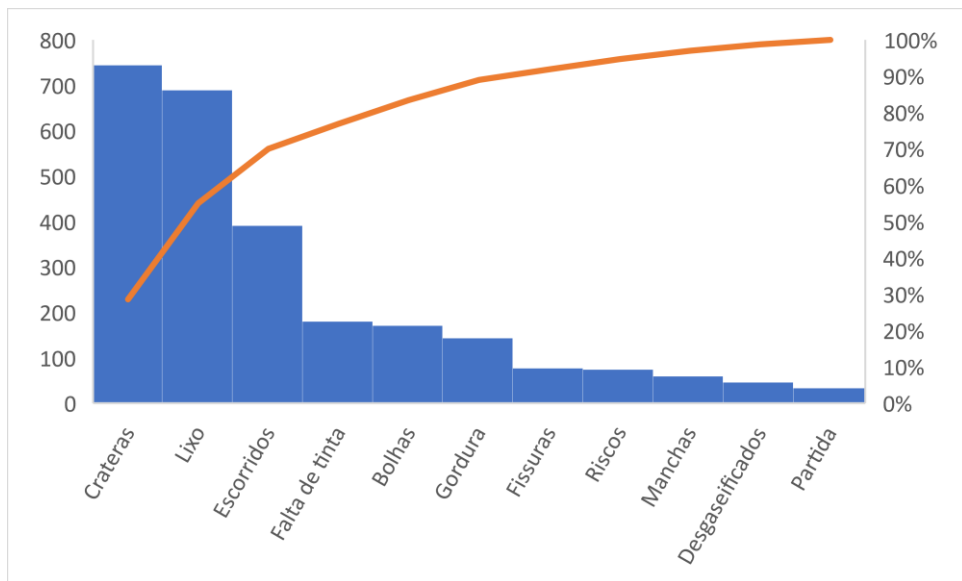


Figura 15 - Diagrama de Pareto de defeitos na pintura

A presença de crateras na peça (Figura 16) é um defeito que tem origem no processo de moldação.



Figura 16 - Peça com defeito (crateras)

No entanto, foi possível verificar que a inspeção visual feita após a moldação não era eficiente devido à elevada taxa de peças que eram detetadas já na entrada da linha de pintura. Esta situação pressupõe custos extra para a empresa, já que quanto mais tarde forem detetados os defeitos, maiores serão os custos da peça. Por isso, considerou-se que uma possível solução seria investir em formação dos operadores para os sensibilizar da importância da inspeção visual das peças, criar ajudas visuais que permitam identificar os vários tipos de defeitos e verificar se as condições de luminosidade no posto de trabalho são adequadas para visualizar os defeitos. Desta forma, a empresa poderia reduzir bastantes custos das peças que são pintadas já com defeitos de moldação.

O segundo tipo de defeitos mais comuns de aparecer em peças rejeitadas são classificados como lixo de pintura. Isto acontece quando a peça é pintada e pode já estar previamente contaminada com poeiras ou outro tipo de sujidade que seja notória mesmo após a sua pintura ou então, durante o percurso na linha de pintura podem ser contaminadas já depois de pintadas. Na Figura 17 é possível ver uma peça rejeitada com esse tipo de defeito.



Figura 17 - Peça com defeito (lixo)

Para descobrir a causa raiz deste problema, elaborou-se um Diagrama de *Ishikawa*, apresentado na Figura 18. De forma a encontrar as potenciais causas que estão na origem deste tipo de defeito, foram feitas reuniões com membros de vários departamentos da empresa, nomeadamente, o departamento de produção, qualidade, processo e melhoria contínua que, em conjunto consideraram que estas causas poderiam ser relativas a máquinas, meio ambiente, mão de obra, meios de controlo, matéria-prima ou métodos.

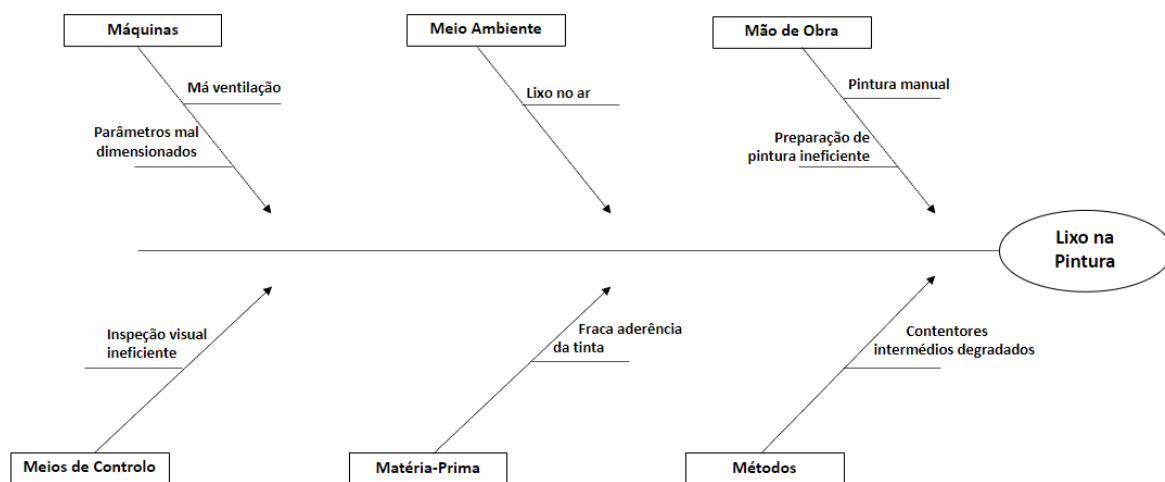


Figura 18 - Diagrama de Ishikawa para analisar as causas de lixo na peça

Após uma análise criteriosa das causas apontadas, apontaram-se soluções possíveis para cada uma delas, que se encontram listadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Ações para mitigar causas de lixo na peça

Causas	Ações possíveis
Má ventilação das máquinas	Aquisição de um novo sistema de ventilação
Parâmetros mal dimensionados	Realizar check-ups regulares
Lixo no ar	Aquisição de “cortina de ar” para evitar fluxos de ar que trazem lixo
Pintura manual	Verificar se os pintores cumprem as condições de aplicação da tinta/Formação
Preparação de pintura ineficiente	Nova cabine de preparação de pintura
Inspeção visual ineficiente	Realizar <i>Quality Talks</i> com operadores/Criar ajuda visual com defeitos de pintura
Fraca aderência da tinta	Realizar testes com tintas de outros fornecedores
Contentores internos danificados	Avaliar contentores e enviar para reparação

É fundamental realçar que, apesar do propósito do Diagrama de *Ishikawa* ser a determinação da causa raiz, tendo em conta a natureza deste problema que é afetado por diversas variantes, o diagrama foi utilizado para identificar todas as causas possíveis, sendo que algumas delas poderão ser a causa raiz do problema. No entanto, a empresa considera que esta abordagem é favorável ao seu contexto pois, ao atuar na mitigação das várias causas possíveis do problema, mesmo sem identificar a(s) causa(s) raiz, estará implicitamente a melhorá-lo.

Assim, foram sugeridos vários tipos de ações a realizar que se consideraram viáveis para mitigar as causas apontadas. No entanto, algumas dessas ações implicam investimentos elevados, por isso, a sua implementação terá de ser cuidadosamente analisada pela empresa. Já as ações que não pressupõe investimento, podem ser implementadas a curto prazo, como, por exemplo, a criação de ajudas visuais com os defeitos mais comuns para serem colocadas nos vários postos de trabalho da linha de pintura. Além disso, também se considerou pertinente reforçar as pequenas formações designadas por “*Quality Talks*” dadas pelo Departamento de Qualidade aos operadores e que pretendem sensibilizá-los para a importância da qualidade no processo. Também se considerou que uma possível causa da presença de lixo nas peças poderia estar ligada à sua contentorização e ao facto de os contentores utilizados estarem degradados e apresentarem sinais de ferrugem que pode contaminar as peças. Para tal, definiu-se que os contentores deveriam ser restaurados

para posteriormente voltarem a poder ser utilizados pela produção. Outra causa apontada como causa possível foi a presença de lixo no ar, dentro da linha de pintura, que acontece uma vez que esta não é totalmente isolada e possui zonas de circulação de pessoas. De facto, quando isto acontece, há um risco elevado de poeiras e outro tipo de sujidade presente no ar poder entrar para a zona da pintura e contaminar as peças que estão a ser pintadas. Por isso, a ação sugerida para eliminar esta causa ou, pelo menos, minimizar o seu impacto seria a aquisição de uma "cortina de ar", semelhante à da Figura 19, com o objetivo de melhorar a qualidade do ar dentro da linha de pintura, sem limitar a circulação de pessoas. As restantes ações podem ser consultadas na Tabela 8.

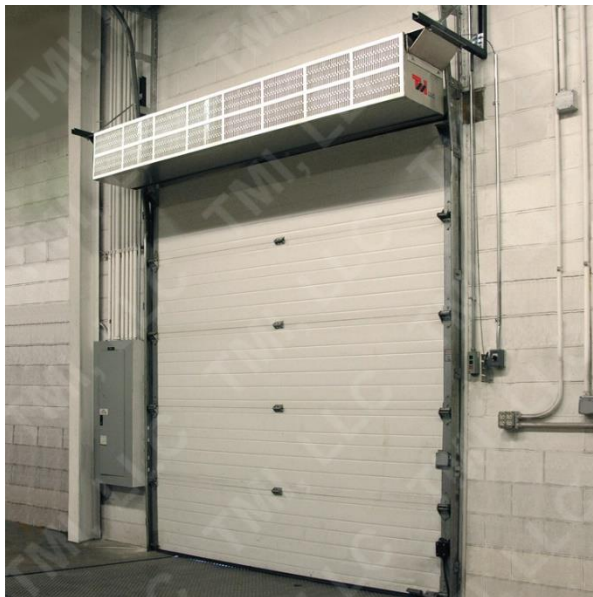


Figura 19 - Exemplo de uma "cortina de ar"

Efetivamente, uma análise detalhada das causas que podem estar na origem dos defeitos de pintura pode ser uma abordagem inicial simples do problema, mas que se pode revelar bastante vantajosa pois, através da comunicação entre toda a equipa e da partilha de ideias e opiniões distintas, podem ser encontradas soluções viáveis para minimizar ou até resolver o problema.

REDUÇÃO DO TEMPO DE *SETUP* NA MONTAGEM

A montagem destas peças é realizada em dois postos de trabalho distintos que funcionam em simultâneo para que o número de peças direitas e esquerdas produzidas seja sempre o mesmo. Ao realizar as caminhadas pelo *gemba* e durante a fase de recolha de dados, foi possível constatar que o *setup* para estes dois postos era demasiado extenso para as tarefas que estavam previstas.

Deste modo, foi feita uma identificação de todas as tarefas realizadas pelos operadores durante o *setup* e, com base na observação do posto de trabalho, foram registradas as suas durações médias na Tabela 9.

Tabela 9 - Duração média das tarefas do setup

Tarefa	Duração média (min)
Arrumar posto de trabalho	1,42
Trocar suportes da peça na banca de trabalho	0,88
Realizar abastecimento de componentes	9,40
Registrar troca de referência no sistema	1,02
Preparar contentores	1,10
Total	13,82

Pela análise dos dados obtidos, foi possível concluir que a maior parte do tempo gasto durante esta paragem era relativa ao abastecimento de componentes ao posto de trabalho, representando cerca de 70% do tempo total de *setup*. Por isso, considerou-se que uma ação possível a tomar para reduzir o tempo de *setup* dos postos de trabalho era implementar um novo método de abastecimento que fosse realizado por um trabalhador indireto da produção. Desta forma, seria possível eliminar a tarefa de abastecimento do *setup* passando essa responsabilidade para uma pessoa externa, permitindo uma redução considerável do tempo de paragem dos dois postos.

Efetivamente, essa ação de implementação de um novo método de abastecimento foi estudada no âmbito do projeto e encontra-se detalhada no capítulo seguinte.

Na Tabela 10 encontram-se os valores previstos de duração de cada *setup* caso fosse possível implementar esta ação. Verifica-se que a eliminação desta tarefa no *setup* permitiria uma redução mesmo em cerca de 9,5 min, o que representa uma melhoria de 68%.

Tabela 10 - Valores estimados para o setup futuro

Posto de trabalho	Setup atual (min)	Setup previsto (min)	Melhoria
LC0830	13,78	4,38	68,2%
LC0831	13,83	4,41	68,1%

Para perceber o impacto real da ação no processo é importante analisar qual seria o ganho em tempo produtivo, isto é, em que medida é que a produtividade dos dois postos seria afetada. Para tal, foram analisadas as horas relativas a paragens em cada posto de trabalho que, neste caso, dizem respeito a paragens para intervalo, arranque de série, limpeza de fim de turno e *setups*. É importante considerar que, geralmente, num turno se produzem lotes de todas as referências de portas e, por isso, considerou-se, com base no histórico de produção, que são realizados, em média, cinco *setups* em cada posto de trabalho. De acordo com a Tabela 11, tendo em conta o valor obtido para a duração do *setup* após a implementação da ação, foi possível calcular o ganho em tempo produtivo, resultando numa melhoria do processo em cerca de 12%.

Tabela 11 - Impacto da redução de *setup* na produtividade da moldação

Posto de trabalho	Paragens (h) [antes]	Paragens (h) [depois]	Tempo produtivo [antes]	Tempo produtivo [depois]	Melhoria de produtividade
LC0830	1,843	1,059	6,157	6,941	12,7%
LC0831	1,845	1,059	6,155	6,941	12,8%

REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE STOCK

Tal como supramencionado, o principal motivo da existência de um lead time total tão elevado, deve-se aos níveis elevados de *stock* de matérias-primas, *WIP* e *stock* de produto acabado, o que acaba por resultar numa baixa percentagem de atividades de valor acrescentado ao processo. Isto acontece porque o planeamento da produção, apesar de ser de acordo com a procura do cliente, é realizado segundo uma lógica push, com lotes elevados para minimizar os *setups* existentes na moldação e não existe qualquer tipo de estratégia de controlo do *WIP*. Além disso, dadas as dimensões das peças, os níveis elevados de *WIP* criam bastantes problemas de espaço para armazenamento das peças dentro da fábrica.

Desta forma, tendo em conta a perspetiva defendida por Rother & Shook (2003) para o mapeamento do estado futuro, explorada no Capítulo II, considera-se que uma possível solução para este problema seria a implementação de supermercados entre os processos e um supermercado de produto acabado, que permitissem um controlo rigoroso do *WIP* e do *stock* de produto acabado. Desta forma, o planeamento da produção deveria ser realizado para o processo pacemaker, neste caso concreto, o processo de montagem e todos os restantes processos trabalhariam para alimentar o supermercado a jusante. Ou seja, apenas quando se verificasse um consumo de peças do supermercado de produto

acabado é que seriam despoletadas ordens de produção de forma a manter as quantidades de material definidas no supermercado.

Por exemplo, Rother & Shook (2003) afirmam que a implementação de um milk run com um fornecedor externo de matéria-prima ou componentes pode ser uma estratégia favorável à redução da quantidade de material em *stock* dentro da fábrica. Os autores afirmam que este tipo de abordagem pode reduzir até 80% as quantidades de material em *stock* na fábrica. Por isso, esta pode ser uma abordagem vantajosa que a empresa poderia estudar num cenário futuro e que poderia ter grandes benefícios, quer a nível de custos com *stock*, de espaço de armazenamento e até de planeamento.

Já no processo de moldação, dado o elevado tempo e quantidade de *setups*, seria vantajoso utilizar um *kanban* de sinalização, ou seja, assim que a quantidade mínima de peças fosse atingida no supermercado entre a moldação e a pintura, seria colocado um *kanban* de sinalização no processo de moldação que indicaria a necessidade de fabricar um novo lote de peças para repor no supermercado.

No processo de pintura, também se considerou adequado que a ordem de produção fosse realizada por um *kanban* de sinalização, visto que neste tipo de processo, apenas pode ser pintado um lote de peças de cada vez e, por esse motivo, este tipo de *kanban* revelou-se o mais adequado.

Por fim, o processo de montagem, processo pacemaker, funcionaria de acordo com a procura do cliente, ou seja, o seu pedido iria despoletar a retirada de peças do supermercado de produto acabado, sinalizado por um "*withdrawal*" *kanban* que, por sua vez, daria origem a um *kanban* de produção para o processo a jusante com o objetivo de reabastecer o supermercado. No entanto, é importante realçar que ambos os *kanbans* chegariam sempre em lotes, uma vez que a procura do cliente é por conjuntos de peças, nomeadamente, portas esquerdas e portas direitas. Efetivamente, esta estratégia poderia revelar-se bastante eficaz no processo de montagem já que é um processo com *setups* relativamente baixos em que é possível produzir vários produtos diferentes em cada turno de trabalho.

Na Figura 20 é possível verificar a proposta dos diferentes tipos de supermercados e os respetivos tipos de *kanbans* associados.

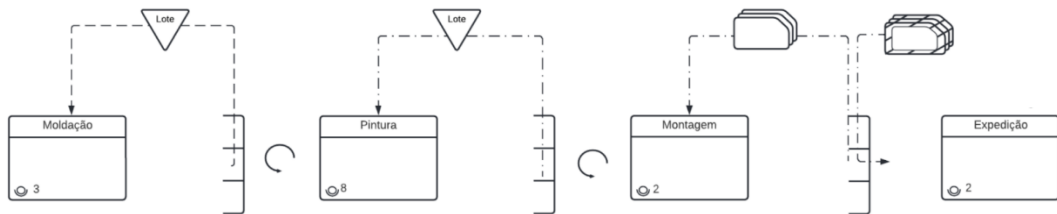


Figura 20 – Sugestão de implementação de supermercados pull no processo produtivo

Dado que não existia informação suficiente para dimensionar estes supermercados, não foi possível contabilizar o impacto que esta proposta de melhoria teria no lead time total do processo. No entanto, existem diversos casos práticos na literatura que confirmam o sucesso desta ferramenta como, por exemplo, o estudo de simulação realizado por Lian & Landeghem (2002) que demonstrou que a implementação uma produção pull com base em supermercados resultou numa redução de 76% de *WIP*. De uma forma geral, a simulação realizada pelos autores demonstrou que o lead time total passou de 1,39h para 0,31h, uma redução bastante significativa e que evidencia o grande potencial da aplicação da ferramenta VSM nos processos produtivos (Lian & Landeghem, 2002).

IV.2. MELHORIA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE COMPONENTES NA MONTAGEM

Neste capítulo é apresentada uma proposta de melhoria do sistema de abastecimento aos postos de trabalho da montagem através da implementação de técnicas *Lean* para a redução de desperdícios e, conseqüente, aumento da eficiência e disponibilidade de produção. Além disso, a solução proposta visa também melhorar aspetos ergonómicos relacionados com o manuseamento de cargas pelos operadores.

Visto que este projeto se foca nas peças que integram as unidades de refrigeração de veículos pesados, o estudo foi realizado apenas para esse contexto. No entanto, a solução aqui apresentada poderá, posteriormente, ser replicada para situações semelhantes, nomeadamente para os restantes postos de trabalho da montagem.

A metodologia para este projeto seguiu as seguintes etapas:

- Diagnóstico da situação atual;
- Identificação de problemas;
- Estudo de um novo método de abastecimento;
- Análise do impacto da melhoria no processo.

IV.2.1. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

A zona de montagem é constituída por dez estações de trabalho manuais e independentes, onde são montadas no total 47 referências distintas de peças. Cada estação de trabalho está associada a um produto ou modelo específico, no entanto cada modelo pode englobar várias referências distintas. Já o número de operadores presentes nos postos de trabalho varia de acordo com a procura dos clientes.

De todos os postos de trabalho, dois são destinados à montagem das peças dos projetos HEV e VECTOR, o posto LC0830 para as portas esquerdas e o posto LC0831 para as portas direitas. Uma vez que as encomendas do cliente são feitas sempre por conjuntos de portas esquerdas e direitas, estes postos de trabalho funcionam em simultâneo, com cadências muito semelhantes para que o *output* de peças esquerdas e direitas seja o mesmo.

Para o diagnóstico inicial, foram realizadas várias reuniões com os responsáveis da área e também observações aos postos de trabalho para entender como funcionava o abastecimento e identificar pontos de melhoria.

Atualmente, o abastecimento de componentes é um processo que se realiza em três fases distintas: a recolha dos itens encomendados no armazém principal e entrega na zona de receção da área de montagem, o abastecimento do armazém intermédio e o abastecimento ao bordo de linha. Na Figura 21 é possível visualizar o *layout* definido para as duas estações de trabalho da montagem em estudo neste capítulo.

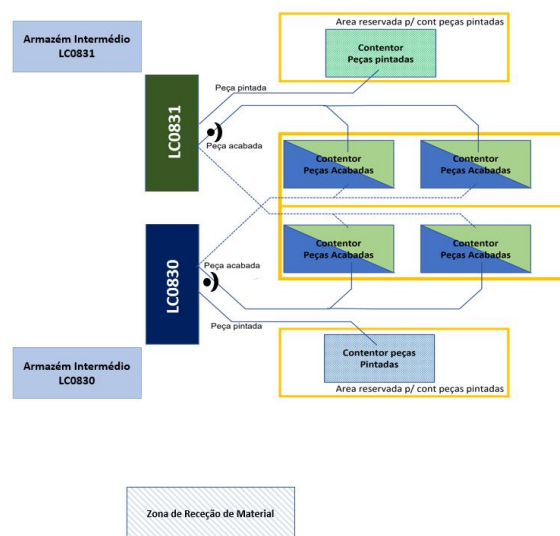


Figura 21 - Layout da zona de montagem

1ª ETAPA: ABASTECIMENTO DO ARMAZÉM PRINCIPAL PARA A ZONA DE RECEÇÃO

Esta primeira fase é assegurada pelos operadores do armazém que entregam o material encomendado pelo coordenador da montagem, aquando da realização de um pedido ao armazém principal. Em média, as encomendas ao armazém principal são feitas duas a três vezes por semana e as quantidades variam de acordo com a procura do cliente para essa semana e para a seguinte.

2ª ETAPA: ABASTECIMENTO AO ARMAZÉM INTERMÉDIO

O coordenador responsável pela área realiza o abastecimento diário do armazém intermédio, assegurando a organização do mesmo e a gestão de pedidos ao armazém principal. No final de cada semana, para controlo de *stock*, é realizado um pequeno inventário dos componentes com maiores consumos para prever as encomendas de material para a semana seguinte. É ainda importante referir que este armazém intermédio se encontra dividido em duas secções distintas, uma vez que as caixas com os componentes são difíceis de manusear e, para tal, optou-se pela criação de uma zona complementar, mais próxima dos postos de trabalho.

3ª ETAPA: ABASTECIMENTO AO BORDO DE LINHA

Não existia nenhum procedimento ou regra que explicasse como deveria ser feito o abastecimento ao bordo de linha. Este abastecimento é realizado pelos próprios operadores que se encontram no posto de trabalho, geralmente durante as trocas de referência (*setups*), que acontecem diversas vezes num turno de trabalho.

Assim, o abastecimento pode ser feito segundo várias situações:

- Situação 1: Os operadores abandonam o seu posto de trabalho e deslocam-se até ao respetivo armazém intermédio com as caixas utilizadas no bordo de linha, transferindo os componentes da caixa do fornecedor para essas caixas. De seguida, deslocam-se novamente para o seu posto de trabalho e colocam a caixa no local definido.
- Situação 2: Os operadores deslocam-se até ao armazém intermédio e verificam qual a caixa com os componentes que necessitam de abastecer. Seguidamente, levam a caixa até ao posto de trabalho (a caixa com o fornecedor com cerca de 28kg) e transferem os componentes de uma caixa para a outra. Por fim, voltam a deslocar-se até ao armazém intermédio para colocar a caixa do fornecedor no respetivo local.
- Situação 3: Os operadores deslocam-se até ao armazém intermédio e retiram componentes avulso, levando-os posteriormente para as caixas que se encontram

no posto de trabalho. É importante salientar que os operadores tomam estas ações para contornar as dificuldades inerentes ao manuseamento das caixas, que será um tópico abordado mais à frente neste capítulo.

IV.2.2. PROBLEMAS ENCONTRADOS

A fase de diagnóstico permitiu identificar alguns pontos suscetíveis de melhoria no abastecimento aos postos de montagem, que se encontram explicados de seguida.

ERGONOMIA

As questões ergonómicas foram o principal fator que motivou o presente estudo. Durante o período do estágio, foi possível presenciar várias situações em que os operadores, que nessa zona de trabalho são maioritariamente mulheres, tinham bastante dificuldade em manusear as caixas com os componentes. As caixas do fornecedor pesam, em média, 28kg cada uma e, por isso, o seu manuseamento é prejudicial não só para os operadores de produção, como para as restantes pessoas que transportam estes materiais, podendo, a longo prazo, despoletar lesões músculo-esqueléticas. Além disso, salienta-se o facto de o esforço elevado feito pelos operadores gerar desconforto e cansaço, o que acaba por afetar a sua motivação e produtividade no trabalho.

DESORGANIZAÇÃO DO ARMAZÉM INTERMÉDIO E DO BORDO DE LINHA

Uma vez que as encomendas de componentes ao armazém principal são geridas em função das necessidades semanais, não existem quantidades mínimas nem máximas para o armazém intermédio e, em situações de picos de produção, não existe espaço suficiente para armazenar as quantidades encomendadas. A maior parte das vezes, a quantidade excessiva de material ocupa todo o espaço livre entre as duas *racks* de cada armazém intermédio, acabando por dificultar a circulação nessa área.

Além disso, o peso das caixas dificulta a sua colocação nas estantes, acabando estas por ficar muitas vezes colocadas no chão, junto da *rack* correspondente. Esta situação incorre num risco de segurança (Figura 22) visto que obstrui o acesso às *racks* do armazém intermédio, além de que poderá ainda provocar danos físicos.



Figura 22 – Armazém intermédio desorganizado e com excesso de componentes

PARAGENS DE PRODUÇÃO PARA ABASTECIMENTOS

Tal como referido no capítulo anterior, os abastecimentos ao bordo de linha são realizados pelos operadores durante os *setups*, que ocorrem, em média, cinco vezes por turno. Nas observações realizadas ao processo, foi possível verificar que a maior parte do tempo gasto no *setup* diz respeito a abastecimento ao bordo de linha, o que torna esse tipo de paragens demasiado longas. A partir da análise feita à duração dos *setups* para cada modelo, foi possível concluir que a duração média de um *setup* é de 13,82 minutos (Figura 13).

Através da análise dos dados da Tabela 9, concluiu-se que 70% desse tempo era relativo a abastecimentos, o que corresponde a, aproximadamente 10 minutos gastos para esse fim. No entanto, é importante ter em consideração que existem *setups* em que não há necessidade de fazer abastecimento de componentes. Por esse motivo, a equipa responsável pelo estudo decidiu que apenas seriam considerados válidos 70% de todos os *setups* realizados.

De referir que, além dos abastecimentos feitos no *setup*, é frequente que os operadores tenham de interromper a produção por falta de componentes no bordo de linha, implicando ainda mais paragens que representam desperdício puro.

IV.2.3. DEFINIÇÃO DO TIPO DE ABASTECIMENTO

Numa fase inicial do estudo foi necessário ponderar várias hipóteses para o método de abastecimento de componentes ao posto de trabalho, que se basearam em conceitos propostos por vários autores, como abastecimento contínuo (*kanban*) e abastecimento sequencial (*junjo*). Para tal, foi necessário ter em conta todas as pessoas envolvidas no processo e realizar diversas reuniões e sessões de *brainstorming* para concluir qual a solução que melhor se adaptaria ao contexto do problema. De seguida encontram-se

descritas as várias hipóteses consideradas e enumeradas as respetivas vantagens e desvantagens de cada uma.

1ª HIPÓTESE: CONCEITO DE ABASTECIMENTO CONTÍNUO (KANBAN)

A primeira solução apresentada teve como base o conceito de abastecimento contínuo por *kanban*. O abastecimento seria realizado por um operador logístico, com uma rota definida, que faria o abastecimento desde o armazém principal até ao supermercado de bordo de linha (SBL). Ou seja, nesta hipótese, existiria um ciclo de abastecimento definido, com base nos tempos de abastecimento médios das peças, em que o operador logístico teria de completar a rota do comboio logístico. Além disso, o supermercado de bordo de linha funcionaria por *kanbans*, isto é, assim que o operador logístico iniciasse a sua rota e verificasse que existiam caixas vazias no SBL, seria responsável pela sua recolha e deveria, posteriormente, dirigir-se ao armazém principal para abastecer as caixas com os respetivos componentes e voltar a colocá-las no SBL no ciclo seguinte.

Vantagens:

- Conceito de abastecimento simples;
- O abastecimento passaria a ser realizado por uma pessoa externa ao posto de trabalho, reduzindo paragens não planeadas;
- Possibilidade de fácil adaptação a outras áreas da fábrica;
- Eliminação de desperdícios de movimentação (eliminação do armazém intermédio);

Desvantagens:

- Necessidade de eleger um operador logístico para essa função;
- Necessidade de dimensionar o SBL para todas as referências de componentes.

2ª HIPÓTESE: CONCEITO DE ABASTECIMENTO SEQUENCIAL (JUNJO)

A segunda hipótese formulada teve como base um abastecimento sequencial (*Junjo*). Neste sistema, o abastecimento é realizado também por um operador logístico, no entanto, a grande diferença perante o anterior é que o abastecimento é realizado por *kits* de componentes relativos à peça que está a ser produzida. Assim, o operador logístico recebe antecipadamente uma lista com os componentes necessários à ordem de produção seguinte, sendo responsável por realizar o abastecimento dos *kits* com as várias referências de componentes a partir do armazém principal para o SBL. É importante referir que estes

kits apenas possuem a quantidade necessária de componentes para satisfazer a ordem de produção correspondente.

Vantagens:

- O abastecimento passaria a ser realizado por uma pessoa externa ao posto de trabalho, reduzindo paragens não planeadas;
- Possibilidade de fácil adaptação a outras áreas da fábrica;
- Eliminação de desperdícios de movimentação (eliminação do armazém intermédio);
- Dimensionamento do SBL mais facilitado, uma vez que apenas são necessárias as referências para determinada ordem de produção;

Desvantagens:

- Necessidade de um planeamento da produção bastante rigoroso;
- Necessidade de eleger um operador logístico para essa função.

3ª HIPÓTESE: CONCEITO DE ABASTECIMENTO MISTO (KANBAN/JUNJO)

Esta terceira solução consiste numa junção das ideias das anteriores num conceito de abastecimento misto e surgiu com o intuito de colmatar as desvantagens das outras soluções apresentadas. Neste caso, o abastecimento seria realizado com base em ciclos de abastecimento definidos que coincidiriam com a troca de referência (*setup*), em que o operador logístico teria que preparar os kits de caixas previamente no armazém principal e realizar o abastecimento do SBL durante o tempo de troca de referência.

Vantagens:

- O abastecimento passaria a ser realizado por uma pessoa externa ao posto de trabalho e com um horário pré-estabelecido, reduzindo paragens não planeadas;
- Possibilidade de fácil adaptação a outras áreas da fábrica;
- Eliminação de desperdícios de movimentação (eliminação do armazém intermédio);
- Dimensionamento do SBL mais facilitado, uma vez que apenas são necessárias as referências para determinada ordem de produção;

Desvantagens:

- Necessidade de um planeamento de *setups* rigoroso;
- Necessidade de eleger um operador logístico para essa função.

Após a ponderação dos prós e contras de cada hipótese, optou-se pelo estudo de uma solução que tivesse como base o ciclo de abastecimento por *kanbans*, para que fosse possível ter todas as referências necessárias no bordo de linha. Neste tipo de sistema de abastecimento, a reposição de componentes é despoletada pelo consumo e deve ser efetuada por um operador responsável que recolhe as caixas vazias e repõe as caixas cheias no ciclo seguinte.

A opção de abastecimento sequencial (junjo) foi descartada devido à grande instabilidade do planeamento da produção para estes postos de trabalho, o que seria um impedimento para a eficácia deste tipo de abastecimento.

No entanto, tendo em conta a realidade da empresa, não se considerou viável a implementação de um *mizusumashi* como é vulgarmente associado a esta forma de abastecimento, uma vez que, à data da realização deste estudo, não existia nenhuma pessoa disponível para desempenhar a função.

IV.2.4. ESCOLHA DA UNIDADE DE TRANSPORTE

A unidade de transporte para cada componente também foi um fator a ter em conta para o projeto. Atualmente, os componentes para os dois postos de trabalho em estudo são fornecidos em caixas plásticas por um fornecedor nacional e em caixas de cartão no caso de virem do fornecedor internacional. No entanto, tanto as caixas plásticas como as de cartão não são colocadas diretamente no bordo de linha, o que implica uma transferência de componentes para outro tipo de caixas.

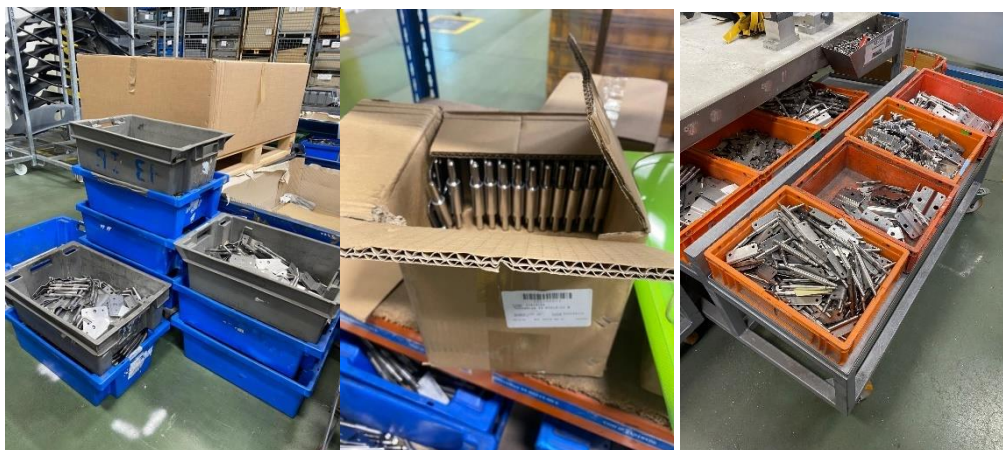


Figura 23 - Diferentes tipos de caixas utilizadas na produção

Um dos objetivos do estudo era analisar a possibilidade de troca destas caixas por um único tipo de caixa que viesse diretamente do fornecedor, eliminando o desperdício inerente à operação de troca de componentes de umas caixas para as outras.

Além disso, outro fator importante a ter em conta na escolha das novas caixas seriam as suas dimensões para que fosse possível ter todos os componentes no bordo de linha. Assim, as caixas propostas foram caixas de norma europeia, ilustradas na Figura 24.



Figura 24 - Exemplo da caixa proposta

IV.2.5. CÁLCULO DO PESO ERGONÓMICO PARA AS NOVAS CAIXAS

A alteração das unidades de transporte para caixas de menores dimensões teve em conta não só os fatores referidos no tópico anterior, mas também questões ergonómicas relacionadas com o manuseamento de cargas pelos operadores. Tal como já foi referido, o peso médio das caixas atuais vindas do fornecedor é, em média, 28 kg, o que não é de todo ergonómico e, a longo prazo, poderá resultar em lesões musculoesqueléticas nos operadores que as manuseiam diariamente.

Portanto, para as novas caixas, foi necessário definir um peso limite ergonômico e, para isso, recorreu-se à equação de *Niosh* que estima o peso máximo aceitável de uma carga que tenha de ser manuseada ou movimentada num determinado posto de trabalho.

Para calcular o peso ideal a manusear foi necessário analisar e recolher dados relativos à trajetória e movimentos realizados pelos operadores aquando da realização do abastecimento (parâmetros D, V, L, H e A na Tabela 12), tendo-se considerado o pior cenário possível, que acontece quando os operadores têm de elevar a caixa de componentes do chão e transportá-la até ao seu posto de trabalho. Para uma análise mais rigorosa, recolheram-se dados referentes a várias observações, realizados por operadores diferentes. O cálculo dos parâmetros seguiu os seguintes pressupostos:

- Distância vertical percorrida (D) corresponde à distância entre o solo e o local onde são colocados os componentes no posto de trabalho.
- Altura inicial da elevação das mãos (V) corresponde à altura a que as mãos estão do solo quando estão a iniciar o manuseamento da caixa.
- Profundidade do objeto manipulado (L) corresponde à largura da caixa plástica utilizada atualmente.
- Considerou-se que a qualidade da pega era aceitável.
- Considerou-se o mínimo possível de elevações por minuto (0,2) uma vez que os operadores realizam o abastecimento com alguma frequência, mas não é um trabalho repetitivo ao longo do turno.

Tal como sugerido por Waters et al. (1994), os respetivos multiplicadores podem ser obtidos a partir do seguinte cálculo:

$$\text{Multiplicador Horizontal (HM)} = \frac{25}{H}$$

$$\text{Multiplicador Vertical (VM)} = 1 - 0,003 \times |V - 75|$$

$$\text{Multiplicador de Distância (DM)} = 0,82 + \frac{4,5}{D}$$

$$\text{Multiplicador de Assimetria (AM)} = 1 - 0,0032 \times A$$

Onde:

H – Distância horizontal entre as mãos e a projeção vertical dos tornozelos no início da elevação.

V – Altura inicial da elevação das mãos (distância entre as mãos e o solo).

D – Distância vertical percorrida desde o ponto em que teve início a elevação até onde foi depositado o objeto.

A – Ângulo de assimetria relativo à torsão do tronco na elevação.

Visto que se considerou a qualidade da pega aceitável e tendo em conta o valor obtido para o parâmetro *V*, foi possível obter o Multiplicador de Pega (*CM*), através do Anexo 3, que é igual a 0,95.

Sabendo que a duração do trabalho é entre duas e oito horas e a frequência das elevações considerada foi de 0,2 elevações/minuto, foi possível obter o Multiplicador de Frequência (*FM*) através do Anexo 2.

Depois de saber o valor de todos os multiplicadores, aplicou-se a fórmula seguinte para o cálculo do Peso Limite Recomendado (*PLR*):

$$PLR = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \text{ [kg]}$$

Tabela 12 – Valor obtido para o PLR

Parâmetro	Fórmula de Cálculo	Valor	Unidade	Descrição
LC		23	kg	Constante de carga
D		46	cm	Distância vertical percorrida desde o ponto em que teve início a elevação até onde foi depositado o objeto
V		20	cm	Altura inicial da elevação das mãos. Distância entre as mãos e o solo
L		30	cm	Profundidade do objeto manipulado
H		15	cm	Distância horizontal entre as mãos e projeção vertical dos tornozelos no início da elevação
A		90	°	Ângulo de assimetria relativo à torsão do tronco na elevação
HM	$25/H$	1,667		Multiplicador Horizontal
VM	$1-0,003 \times V-75 $	0,835		Multiplicador Vertical
DM	$0,82 + (4,5/D)$	0,918		Multiplicador de Distância
AM	$1 - (0,0032 \times A)$	0,712		Multiplicador de Assimetria
CM	Depende da qualidade da pega	0,950		Multiplicador de pega
FM	Depende da frequência das elevações	0,850		Multiplicador de frequência
PLR	$LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$	17	kg	Peso Limite Recomendado

Tendo isso em conta, foi possível estimar o Peso Limite Recomendado (PLR), que ficou definido como 17 kg.

A equação de *Niosh* possibilita ainda calcular o índice ergonómico (IE), que avalia o risco de contração de lesões músculo-esqueléticas de acordo com o peso manipulado:

$$\text{Índice Ergonómico} = \frac{\text{Peso Manipulado}}{\text{Peso Limite Recomendado}}$$

Face à situação inicial, em que os operadores manuseavam um peso médio de 28kg, obteve-se um índice ergonómico igual a 1,65 (Tabela 13).

Tabela 13 - Cálculo do Índice Ergonómico

Parâmetro	Valor	Unidade	Descrição
PM	28	Kg	Peso manipulado
PLR	17	Kg	Peso limite recomendado
IE	1,65		Índice ergonómico

De acordo com a perspetiva de *Niosh*, como $1 < IE = 1,65 < 3$, o risco atual da tarefa de abastecimento é considerado como médio e pode originar lesões músculo-esqueléticas aos trabalhadores a médio ou longo-prazo.

IV.2.6. QUANTIDADE POR CAIXA

Para se estimar a quantidade por caixa, foram realizados vários testes para determinar a quantidade máxima de componentes que cada caixa poderia levar. No entanto, nos casos em que a quantidade máxima ultrapassava o peso limite (17kg), limitou-se a quantidade por caixa pela quantidade ergonómica (igual ou inferior ao peso ideal) para que essa condição fosse sempre assegurada (Tabela 14).

Assim, as quantidades estimadas para cada caixa resultaram num peso máximo de 14,3kg, garantindo o cumprimento do peso limite recomendado.

Tabela 14 - Cálculo do peso das novas caixas

Ref. Comp.	Qtd Atual/Caixa	Qtd Ergonómica/Nova Caixa	Qtd Máxima Possível/Nova Caixa	Qtd Escolhida/Nova Caixa	Peso da nova caixa (kg)
12700001	500	681	500	500	13
12700002	250	182	150	150	14
21919012	75	60	35	35	10
21919016	75	49	30	30	11
21919018	75	49	30	30	11
21919019	75	56	35	35	11
21919022	75	56	35	35	11
21919083	120	143	120	120	14
21919084	100	120	100	100	14
21919104	100	132	85	85	11
21919105	100	69	40	40	10
21919106	100	174	85	85	9
21919109	100	93	60	60	11
21919111	100	81	40	40	9
21919112	100	82	40	40	9
Total					11

IV.2.7. CÁLCULO DOS KANBANS PARA O BORDO DE LINHA

Para estimar o número de caixas necessárias no bordo de linha, foi necessário fazer um levantamento de todas as referências de peças montadas nos postos LC0830 e LC0831 e analisar o histórico de consumos de peças relativos ao ano de 2021. Para estimar os consumos de componentes foi também necessário consultar as respetivas *BOM's (Bill of Materials)* (Anexo 5). No entanto, é sempre necessário considerar possíveis variações de consumo, uma vez que a procura do cliente varia ao longo do ano e, além disso, o ritmo de produção também não é constante. Dessa forma, considerou-se variações de consumo para o pior cenário que se considerou ser o mês com um volume de pedidos mais elevados, neste caso o mês de julho.

De acordo com Coimbra (2013), o tipo de *kanban* mais adequado para estes casos é o *kanban* de transporte interno, que se caracteriza por um ciclo de abastecimento definido que, neste caso se considerou 24h, uma vez que correspondia ao que já é feito atualmente pelo responsável pelas encomendas de material ao armazém. Desta forma, o responsável terá de retirar diariamente as caixas vazias e solicitar ao armazém a entrega de caixas cheias.

O cálculo do número de caixas necessárias teve em consideração a metodologia adotada por Coimbra (2013) que refere que o número de caixas necessárias para o *kanban* de transporte interno resulta do seguinte cálculo:

$$N^{\circ} \text{ de Caixas} = \frac{(\text{Stock para o ciclo} + \text{SS para variação de consumo e lead time}) * 2}{\text{Quantidade por caixa}} + 1$$

Ou seja, o número de caixas necessário para o supermercado de bordo de linha é igual a duas vezes a soma do *stock* necessário para o ciclo de abastecimento definido com os *stocks* de segurança para a variação do consumo e para a variação de *lead time*, dividido pela quantidade de componentes que cada caixa levará, adicionando sempre mais uma caixa para assegurar um fornecimento ininterrupto de material ao posto de trabalho. No entanto, o *stock* de segurança para a variação de *lead time* não foi contabilizado uma vez que se considerou que, neste tipo de transporte interno, o abastecimento é sempre assegurado pelo responsável.

Os cálculos realizados para estimar o número de caixas necessárias para cada componente nos dois postos de trabalho podem ser consultados no Anexo 6.

Uma vez que cada caixa representa um *kanban*, deve ter associada um cartão *kanban* que permita identificar o componente em questão, a quantidade definida e os locais de origem e destino. Optou-se pela elaboração de um exemplo de um cartão, visível na Figura 25, que, além da informação necessária, tem uma imagem do componente para uma melhor gestão visual no bordo de linha e um código de barras para facilitar as encomendas ao armazém.

REF# ITEM		DESIGNAÇÃO ITEM	POSTO DE TRABALHO	
21919084		DOBRADIÇA 44-60154-00	LC0830 – BANCA PORTAS ESQUERDAS	
	QUANTIDADE/CAIXA	KANBAN Nº		
	100	1/4		
	ARMAZÉM ORIGEM	ARMAZÉM DESTINO		
L0100		L1100		
				

Figura 25 - Exemplo de um cartão *kanban*

IV.2.8. DIMENSIONAMENTO DO BORDO DE LINHA

Após o cálculo do número de *kanbans*, foi também necessário dimensionar o bordo de linha e a disposição das caixas de forma a minimizar os movimentos realizados pelos operadores. Atualmente os componentes para cada posto de trabalho estão dispostos imediatamente abaixo da banca de trabalho (Figura 26), na *golden zone* do operador, pois não necessita de se deslocar para chegar aos componentes.



Figura 26 - Localização atual dos componentes no posto de trabalho

Por isso, era fundamental que a nova solução também tivesse este fator em consideração, uma vez que o objetivo desta melhoria é eliminar de desperdícios e não seria viável criar a necessidade de mais deslocações, mas sim de reduzi-las.

Assim, para que todas as referências de componentes estejam dispostas no bordo de linha pensou-se numa solução de *low-cost automation*, a criação de uma estrutura semelhante a um *karakuri* por gravidade (Figura 27).

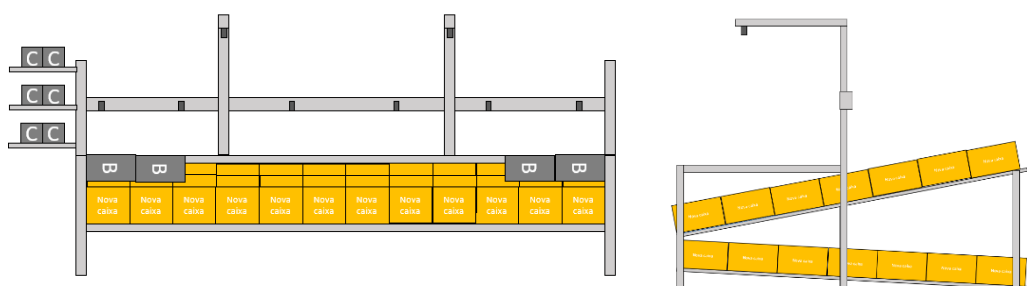


Figura 27 - Desenho do karakuri por gravidade para cada posto de trabalho

Com este tipo de solução pretende-se que o abastecimento seja realizado na parte de trás da banca de trabalho e que a recolha de caixas vazias seja feita da mesma forma. Os dois postos de trabalho terão estruturas na parte de trás da banca que possibilitem o abastecimento das caixas por gravidade à zona inferior da banca, sem interromper a

produção. Desta forma, a pessoa responsável por realizar o abastecimento diariamente terá de recolher as caixas vazias com as respetivas etiquetas *kanban* e solicitar a mesma quantidade de caixas cheias aos responsáveis do armazém, que irão assegurar a entrega no ciclo seguinte.

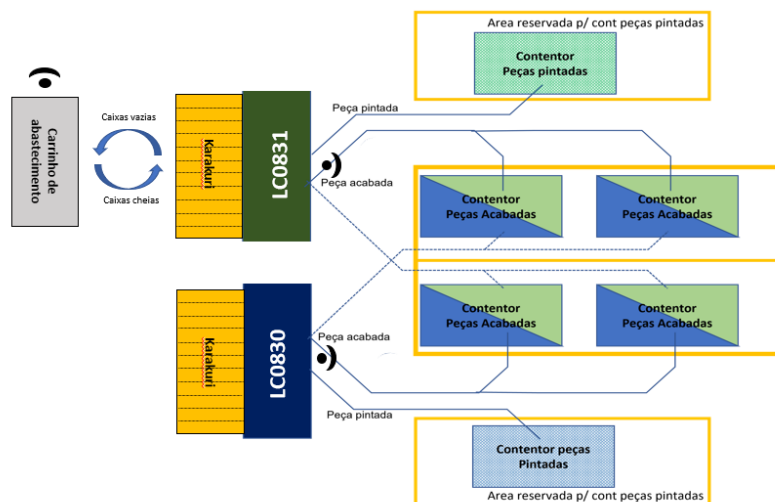


Figura 28 - Layout proposto para a zona de montagem

IV.2.9. IMPACTO DA SOLUÇÃO DESENVOLVIDA

Tal como mencionado no início do capítulo, a proposta de um novo sistema de abastecimento tinha como objetivo melhorar vários aspetos no processo, desde questões relacionadas com desperdício de tempo, ergonomia e ainda organização do posto de trabalho. Desta forma, optou-se por dividir este tópico de acordo com as melhorias inerentes à solução apresentada.

ERGONOMIA

A alteração das unidades de transporte para caixas plásticas de menores dimensões possibilitou uma redução do seu peso médio de 28kg para 14,3kg, no pior dos casos, isto é, na caixa mais pesada. De facto, esta redução é bastante significativa, uma vez que a tarefa de abastecimento era bastante regular e implicava o manuseamento de várias caixas com um peso elevado.

A determinação do Peso Limite Recomendado (PLR) permite calcular qual o índice ergonómico atual da tarefa e estimar o nível de risco associado. No entanto também é possível determinar o índice ergonómico para o cenário futuro, de acordo com o dimensionamento do peso das novas caixas e estimar o nível de risco associado ao manuseamento das novas caixas. Tal como já calculado anteriormente, o índice ergonómico

da situação atual era de 1,65, tendo sido classificado como risco médio de desenvolvimento de lesões a médio/longo-prazo.

Tendo em conta que na situação futura, o pior cenário é relativo ao manuseamento da caixa mais pesada com 14,3kg de peso máximo. Ora, o índice ergonómico para esta situação pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Índice Ergonómico} = \frac{\text{Peso Manipulado}}{\text{Peso Limite Recomendado}} = \frac{14,3}{17} = 0,84$$

De acordo com Waters et al. (1994), como $IE = 0,84 \leq 1$, o risco da tarefa de abastecimento na situação futura seria considerado como aceitável, ou seja, a tarefa poderia ser realizada pela maioria dos trabalhadores sem causar qualquer tipo de danos.

Assim, é possível afirmar que a melhoria proposta permitiria reduzir o risco de lesões músculo-esqueléticas em cerca de 50%.

ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO

O armazém intermédio destinado para estes componentes encontrava-se quase sempre demasiado cheio e desarrumado, visto que o peso das caixas dificultava a sua colocação nos locais definidos. Por isso, a maior parte das vezes, os componentes acabavam por ficar colocados no chão, obstruindo a passagem e criando riscos de segurança no local. A criação de um *karakuri* por gravidade permitiu eliminar esse armazém intermédio e organizar o espaço através da atribuição de um local específico na estante para cada tipo de componente. A gestão por *kanbans* também permitiu reduzir a quantidade de componentes, passando a ter apenas a quantidade suficiente para um ciclo de abastecimento e, além disso, a sua gestão passou a ser feita visualmente, de uma forma claramente mais facilitada.

REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP

A proposta de alteração do método de abastecimento terá um impacto significativo na duração do tempo de *setup*, uma vez que o abastecimento era realizado durante esse período. Desta forma, esta solução permite alterar a responsabilidade do abastecimento que passou a ser atribuída a um trabalhador indireto da produção em vez de ser realizado pelos operadores, como acontecia até ao momento. Por isso, tal como já mencionado no capítulo anterior, estima-se que esta mudança permitiria a redução da duração de cada *setup* em cerca de 70%, passando a ser, em média, 4 minutos.

IV.3. DESENVOLVIMENTO DE UMA NOVA EMBALAGEM PARA PRODUTOS DE *AFTERMARKET*

A grande parte dos projetos da área automóvel, para além da produção em série para o cliente, envolve também um segmento de mercado designado por *aftermarket* ou mercado de peças sobressalentes (*spare parts*). Este tipo de mercado consiste no fornecimento de produtos cujos projetos já estão em fase de término ou mesmo projetos que já tenham terminado, mas em que é necessário assegurar o fornecimento de peças para os vários distribuidores mundiais (ex.0.: concessionários ou oficinas).

Uma vez que a *Teijin* se insere no leque de principais fornecedores da indústria automóvel, possui diversos projetos que também integram este segmento de mercado. Atualmente, num dos seus projetos, fornece peças sobressalentes para um cliente com duas fábricas em diferentes pontos da Europa, que são posteriormente distribuídas mundialmente.

O fornecimento para este tipo de mercado segue exatamente os mesmos processos e padrões de qualidade para garantir sempre a satisfação do cliente. No entanto, apresenta algumas características específicas, diferentes da produção em série, tais como, as quantidades residuais fornecidas e a distinção da embalagem final.

No início do estágio, foi proposto o desafio de desenvolver uma nova embalagem para este tipo de produtos, uma vez que a empresa sabe que o processo de reposição não está de todo otimizado e podia ser alvo de melhorias. Assim sendo, o grande objetivo é realizar um estudo de desenvolvimento de uma nova embalagem *standard* que possa servir para várias referências de peças, reduzindo desperdícios de tempo no processo e também custos industriais.

A metodologia seguida para este caso prático envolveu os seguintes tópicos:

- Análise do processo atual e identificação de problemas;
- Estudo dimensional de uma nova embalagem *standard*;
- Análise do impacto da melhoria no processo;
- Realização de ensaios internos para aprovação da embalagem;
- Quantificação dos ganhos obtidos.

IV.3.1. ANÁLISE DO PROCESSO ATUAL E IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS

O processo de reposição difere do processo de produção para linha em vários aspectos. Em primeiro lugar, a embalagem das peças, no caso da reposição, é individual devido ao seu destino final poder ser em qualquer concessionário de qualquer parte do mundo. Pelo contrário, as peças para linha são colocadas em contentores e enviadas para a fábrica do cliente. Além disso, também o processo da embalagem difere nestas situações. Quando as peças são para linha, é realizada a montagem da peça na estação de trabalho e a peça é imediatamente colocada no contentor final. Já no processo de reposição, a embalagem apenas é realizada após a montagem de todas as peças necessárias. Além disso, a embalagem atual pressupõe uma pré-montagem da caixa e só depois disso é que a peça pode ser embalada (

Figura 29).



Figura 29 - Embalagem de peças (esquerda - peças de produção em série; direita – peças de reposição)

Atualmente, a empresa fornece dez referências distintas de peças, que são embaladas em três tipos de caixas designadas por pequenas, médias e grandes, como se pode verificar na Tabela 15. No entanto, dada a diferença dimensional das peças, as portas laterais (identificadas na tabela como PHEVLE/LD) não foram incluídas nesta melhoria pois seria inviável criar uma embalagem *standard* que pudesse incluir estas peças.

Tabela 15 - Identificação das peças embaladas em cada tipo de caixa

	Caixa Grande	Caixa Média	Caixa Pequena
	2130x560x140	1405x710x105	1230X680X130
PHEVLE/LD	x		
PHEVCE/CD		x	
P458/59			x
P460/61			x
P462/63			x

A embalagem atual das peças de reposição, ilustrada na Figura 30, pressupõe a utilização de plástico mil bolhas para proteção da peça contra possíveis riscos que o cartão possa provocar na pintura e, além disso, também pressupõe a utilização de cantos de polietileno. No entanto, algumas peças necessitam de levar também blocos de polietileno para evitar que se movimentem dentro da caixa durante o transporte.



Figura 30 - Embalagem atual de cada peça

Numa primeira abordagem ao problema, foi importante conhecer em detalhe o processo e todas as suas etapas e, para tal, foram realizadas diversas visitas pelo *gemba* para acompanhamento do processo.

Durante esta fase, foi possível identificar a desorganização do posto de trabalho que ocorria quando se realizava a pré-montagem das caixas (Figura 31). Esta situação ocorre porque não existe um *layout* definido para o processo e os operadores têm de se adaptar ao espaço

disponível nesta zona. Além disso, a pré-montagem das caixas era uma tarefa dispendiosa a nível de tempo, o que condicionava a disponibilidade do operador para as restantes tarefas, como o próprio embalamento da peça.

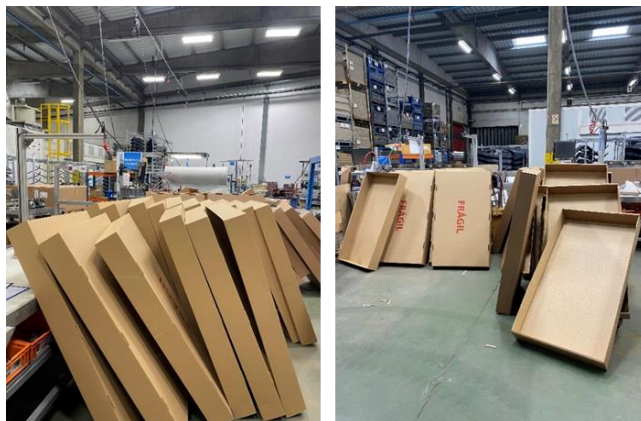


Figura 31 - Desorganização no posto de trabalho

Posteriormente, com o intuito de conhecer em detalhe o processo, foi realizado um estudo de tempos quer para determinar o tempo padrão da embalagem das peças. Este estudo foi realizado com recurso a cronometragens, de acordo com as orientações de Stevenson (2017). Esta técnica é frequentemente utilizada em contexto industrial para determinar o tempo necessário para completar uma tarefa específica.

Em primeiro lugar, foi necessário observar o processo de embalagem para cada referência e, posteriormente, foi feita a divisão da tarefa em Unidades Elementares de Trabalho (UET). Para estimar a média e desvio-padrão dos tempos cronometrados, foi definida uma amostra inicial de dez observações para cada UET. Além disso, definiu-se uma precisão de 10% e um nível de confiança de 95%. Dessa forma, foi possível definir o tamanho da amostra para determinar o tempo padrão para cada UET:

$$n = \left(\frac{Z \times s}{a \times \bar{x}} \right)^2$$

Em algumas situações, as dez observações iniciais não foram suficientes para completar o valor da amostra n e, nesses casos, foi necessário realizar mais cronometragens.

Depois de reunidas as condições necessárias para o cálculo do tempo médio observado (OT), que corresponde à média aritmética dos tempos cronometrados para cada UET, foi necessário determinar o respetivo tempo normal (NT_{UET}).

Para tal, considerou-se que o fator de performance do operador seria de 80%. Este valor foi o resultado de uma ponderação da equipa envolvida no estudo, uma vez que se considerou que os operadores desempenhavam as tarefas a um ritmo mais lento que o normal e alguns deles não tinham um nível de experiência tão elevado para este tipo de trabalho.

$$NT_{UET} = OT \times PR$$

O tempo normal da tarefa (NT) foi obtido através da soma dos tempos normais para cada UET. Por fim, o cálculo do tempo padrão pressupõe a determinação de um fator de compensação para a tarefa, que foi baseado nos valores indicados na tabela do Anexo 4. Considerou-se que o desempenho do trabalho pode ser afetado pela fadiga dos operadores (4%), pelo facto dos operadores trabalharem em pé (2%) e, além disso, optou-se por classificar a monotonia do trabalho no nível médio (1%). Desta forma, o valor obtido para A foi de 7%, permitindo obter o tempo padrão da tarefa:

$$ST = NT \times (1 + A)$$

As cronometragens e os respetivos tempos padrão para cada referência de peça foram registados numa tabela semelhante à do 0.

Após a cronometragem de tempos e análise dos dados obtidos, ilustrados na Tabela 16, foi possível concluir que, apesar do processo estar a funcionar dentro do previsto, o tempo gasto na embalagem das peças representa, em média, 46% do tempo total do processo.

Tabela 16 - Tempos de montagem e embalagem de um lote de peças para reposição

	Lote							
	P458	P459	P460	P461	P462	P463	PHEVCD	PHEVCE
Qtd Peças/Lote	8	8	8	8	8	8	8	8
Tempo padrão total de montagem de peças/lote	19,3	10,1	10,1	8,5	15,0	15,0	19,3	24,0
Tempo padrão total de embalagem/lote	11,69	11,69	12,78	12,78	12,79	12,79	12,19	12,19
Pré-montagem das caixas	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12
Embalagem	6,83	6,83	7,93	7,93	7,94	7,94	6,76	6,76
Colocação de autocolantes identificadores	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Filmagem da palete/Cintar palete	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	1,34	1,34
Colocação de etiquetas finais	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
% tempo relativo a embalagem	38%	54%	56%	60%	46%	46%	39%	34%

IV.3.2. ESTUDO DIMENSIONAL DE UMA NOVA EMBALAGEM STANDARD

Um dos objetivos deste estudo consistia no estudo e desenvolvimento de uma nova embalagem que permitisse, sobretudo, reduzir o tempo de embalagem destas peças. No entanto, numa perspetiva de melhoria contínua, a empresa também pretendia reduzir a quantidade de embalagens distintas para cada peça e criar uma embalagem com dimensões *standard* que seja viável para vários modelos. Esta alteração, para além de facilitar o processo de embalagem, terá possivelmente impacto ao nível da gestão de materiais necessários para o processo.

Com base nos problemas identificados, concluiu-se que a diminuição do tempo de embalagem apenas seria possível se a tarefa de pré-montagem das caixas fosse eliminada, uma vez que as restantes tarefas teriam de ser mantidas para garantir o cumprimento dos requisitos do cliente. Por isso, foi necessário analisar que tipo de embalagem se adequava melhor a esta situação específica, sendo que foram realizadas reuniões com a equipa envolvida e com o atual fornecedor deste tipo de material, a fim de perceber qual seria a melhor solução. As opções consideradas para a nova embalagem foram consultadas no código FEFCO, que consiste num sistema internacional para atribuição de códigos para cada *design* de embalagens de cartão disponíveis no mercado, de forma a facilitar a sua identificação por essas mesmas indústrias (FEFCO, 2022).

Das várias opções analisadas, escolheram-se os dois modelos da Figura 32 que não necessitam de nenhuma tarefa de pré-montagem e, portanto, foram consideradas como as soluções mais viáveis para este contexto.

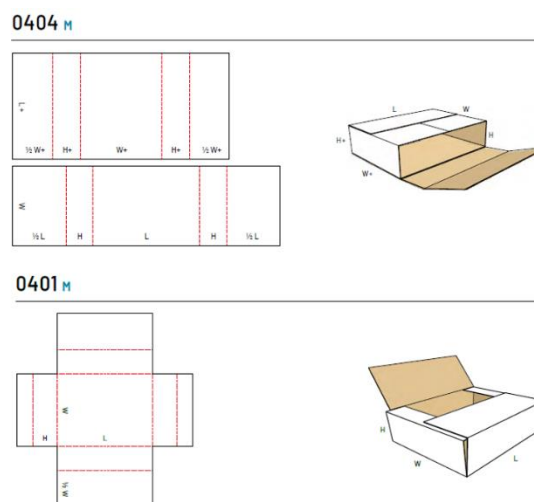


Figura 32 - Modelos propostos para a nova caixa

Após a seleção destas duas opções, consideradas como proposta 1 e 2 respetivamente, foi necessário estudar quais seriam as dimensões *standard* da nova caixa para que pudesse

ser usada nas oito referências distintas de peças. Esta fase pressupõe um trabalho conjunto da equipa responsável e também com os fornecedores atuais de material que cederam várias amostras para ensaios dimensionais da nova embalagem. Por exemplo, visto que algumas peças apresentam uma curvatura maior que outras, foi necessário ajustar a altura da caixa para que fosse possível colocar peças mais baixas (Figura 33 – esquerda) e peças mais altas (Figura 33 – direita).

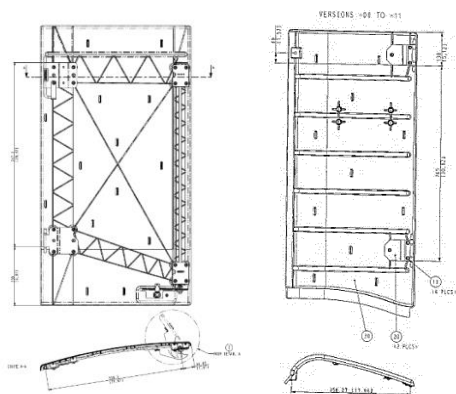


Figura 33 - Desenho técnico das peças

No entanto, aumentar apenas a altura da caixa não garantia a segurança das peças durante o seu empilhamento e, por isso, foi necessário pensar numa alternativa para assegurar esse fator de segurança. Nesse sentido, considerou-se que seria viável a alteração dos cantos e blocos de polietileno utilizados atualmente para cantos e blocos de cartão de maiores dimensões (Figura 34) que, além de ser uma opção mais sustentável, resistem melhor à pressão de empilhamento, reduzindo o risco de danificar a peça.



Figura 34 - Cantos e blocos atuais vs proposta futura

IV.3.3. ANÁLISE DO IMPACTO DA MELHORIA NO PROCESSO

Após a ponderação das duas propostas, foram realizadas várias simulações do processo de embalagem de peças que foram filmadas e, posteriormente, foi feito o registo dos tempos das mesmas e calculado o tempo padrão de cada tarefa (Tabela Tabela 17 e Tabela 18).

Desta forma, foi possível prever o impacto da alteração da embalagem no processo de reposição.

Tabela 17 - Tempo padrão das tarefas de embalagem (proposta 1)

Proposta 1				
Nº	Descrição da Tarefa	Operador		Tempo padrão (min)
		1	2	
1	Pegar na 1ª aba e colocar na máquina de cintar	x		0,11
2	Pegar na 2ª aba e colocar na máquina de cintar	x		0,12
3	Colocar peça na caixa		x	0,11
4	Montar 4 cantos e colocar na peça	x	x	0,27
5	Colocar 2 blocos	x	x	0,14
6	Fechar caixa	x	x	0,20
7	Cintar caixa	x	x	0,12
8	Colocar a caixa na palete	x	x	0,10
Total				1,2

Tabela 18 - Tempo padrão das tarefas de embalagem (proposta 2)

Proposta 2				
Nº	Descrição da Tarefa	Operador		Tempo padrão (min)
		1	2	
1	Pegar na caixa e colocar na máquina de cintar	x		0,14
2	Colocar peça na caixa		x	0,06
3	Colocar 4 cantos e 2 blocos	x	x	0,24
4	Fechar caixa	x	x	0,15
5	Cintar caixa	x	x	0,12
6	Colocar a caixa na palete	x	x	0,09
Total				0,8

Por análise das Tabelas Tabela 17 e Tabela 18, é possível verificar que as tarefas dos operadores serão ligeiramente diferentes dependendo da proposta escolhida. Isto acontece porque as duas propostas em análise são referentes a fornecedores distintos e pressupõe condições distintas entre elas.

Além do modelo da caixa ser distinto, na proposta 1, o fornecedor não garante a montagem dos cantos nas suas instalações, o que implica a sua montagem internamente (tarefa 4 da proposta 1), à semelhança do processo atual que pressupõe uma pré-montagem da caixa. De facto, este aspeto acaba por ser uma desvantagem desta proposta pois, apesar de existir

uma redução do tempo de ciclo da montagem, essa redução é pouco significativa. Já a proposta 2 pressupõe o fornecimento dos cantos que protegem a peça montados e, desse modo, os operadores já não terão que despende tempo nessa tarefa. Por isso, a redução do tempo de ciclo de embalagem é bastante favorável, tornando o processo muito mais simples e eficiente.

Tabela 19 - Comparação dos tempos atuais de embalagem com as novas propostas

Tempo de embalagem	Atual	Proposta 1	Proposta 2
Lote P458/459	11,69	11,15	8,01
Lote P460/461	12,78	11,15	8,01
Lote P462/463	12,79	11,15	8,01
Lote PHEVCD/HEVCE	12,19	11,72	8,58
Tempo médio de embalagem/lote (min)	12,36	11,29	8,15
Tempo médio de embalagem/peça (min)	1,55	1,41	1,02
% Redução de tempo		-9%	-34%

Na Tabela 19, estão representados os tempos de embalagem para cada lote de peças. Considerou-se que um lote é constituído por 8 peças pois corresponde ao modo de embalagem por palete exigido pelo cliente. Além disso, a embalagem de um lote pressupõe várias tarefas que apenas são realizadas após a embalagem das oito peças como, por exemplo, cintar ou filmar a paleta e colocar as etiquetas finais.

Por análise dos valores obtidos, é possível verificar que ambas as soluções são favoráveis na redução de tempo no processo, sendo possível uma redução de 9% e de 34% do tempo de embalagem para a proposta 1 e 2, respetivamente. A grande disparidade dos valores da primeira proposta face aos valores da segunda prende-se com a montagem dos cantos que protegem a peça serem realizados internamente (primeiro cenário) ou pelo fornecedor (segundo cenário), tal como anteriormente mencionado.

No entanto, a escolha da proposta a implementar nunca será realizada pela empresa, mas sim pelo cliente e, por esse motivo, é fundamental garantir que as duas propostas são favoráveis para a empresa, independentemente das suas condicionantes.

IV.3.4. REALIZAÇÃO DE ENSAIOS INTERNOS PARA APROVAÇÃO DA EMBALAGEM

Muitas empresas apostam cada vez mais na melhoria da embalagem, quer por questões de otimização do processo como também para melhorar a proteção da peça e garantir que esta chega ao destino final em perfeitas condições. Para esse efeito, as embalagens são

frequentemente submetidas a testes específicos, realizados de acordo com a norma ASTM-D4169, que permitem avaliar o seu comportamento perante diversos fatores (Oliveira, 2015). No entanto, visto que estes testes são realizados em laboratório e, por consequência, apresentam custos elevados para as empresas, muitas optam por realizá-los internamente de uma forma mais simples, tal como aconteceu para o estudo desta embalagem. A empresa pretendia analisar se a nova proposta era, efetivamente, viável para o objetivo pretendido e, por isso, realizaram-se pequenos ensaios na fábrica de modo a obter a aprovação da embalagem relativamente à sua resistência.

É importante referir que os ensaios apenas foram realizados para a proposta 1 pois não foi possível, no período do estágio curricular, obter as amostras da proposta 2 para ensaiar internamente. No entanto, a empresa pretende realizar o mesmo tipo de análise para a segunda proposta para avaliar se esta satisfaz os requisitos necessários de proteção da peça.

TESTE DE QUEDA (*MANUAL HANDLING*)

Após a análise dos vários testes propostos pela norma ASTM-D4169 considerou-se que o teste mais adequado para esta situação específica seria o teste de queda (ou *Manual Handling*), uma vez que o único teste que se poderia replicar facilmente sem equipamento de laboratório.

Este teste permite avaliar o comportamento da embalagem quando está sujeita a um mau manuseamento, nomeadamente, quando acontecem quedas do material em ambiente de distribuição. Por isso, este teste consiste em provocar uma queda da embalagem no solo, com uma altura que é definida de acordo com o peso da embalagem (Oliveira, 2015).

Em primeiro lugar, foi necessário definir quais seriam os critérios de aceitação do teste que devem considerar as condições exigidas no produto quando este for entregue no destino final (Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems, 2016). Neste caso, optou-se por considerar os seguintes critérios:

1. O produto não apresenta danos visíveis (partido, estalado, aspeto NOK);
2. A embalagem está intacta.

Posteriormente, foi também necessário definir o *assurance level*, isto é, o nível de intensidade do teste com base na sua probabilidade de ocorrência num ciclo típico de distribuição de mercadorias (Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems, 2016). De acordo com (Oliveira, 2015), o nível I de *assurance level* caracteriza-se pelo teste com maior severidade e cuja probabilidade de ocorrer em

situações cotidianas é reduzida. Já o *assurance level* II é menos rigoroso que o nível I. Por último, o nível III de *assurance level* caracteriza-se por um teste pouco rigoroso, mas com alta probabilidade de ocorrer em situações cotidianas. Tendo em conta que o histórico de reclamações do cliente por danos da embalagem ser reduzido, considerou-se que o nível do teste mais adequado seria o nível I.

Tabela 20 - Especificação da altura de queda (Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems, 2016)

Drop Height, in (mm)			
<i>Shipping Weight, lb (kg)</i>	<i>Assurance level</i>		
	I	II	III
0 to 20 (0 to 9.1)	24 (610)	15 (381)	9 (229)
20 to 40 (9.1 to 18.1)	21 (533)	13 (330)	8 (203)
40 to 60 (18.1 to 27.2)	18 (457)	12 (305)	7 (178)
60 to 80 (27.2 to 36.3)	15 (381)	10 (254)	6 (152)
80 to 100 (36.3 to 45.4)	12 (305)	9 (229)	5 (127)
100 to 200 (45.4 to 90.7)	10 (254)	7 (178)	4 (102)

Sabendo que a embalagem não ultrapassa os 9,1 kg de peso total, foi possível definir a altura de queda da embalagem em 61 cm, de acordo com a Tabela 20.

De acordo com a norma ASTM-D4169, o procedimento para a realização do teste de queda deve seguir a sequência da Tabela 21. A Figura 35 permite uma melhor compreensão da zona da embalagem que deverá sofrer o impacto com o solo.

Tabela 21 - Procedimento para realização do teste de queda

<i>Sequência de queda</i>	<i>Local submetido à queda</i>	<i>Repetição</i>
1	Parte inferior (Ex: face 3)	1
2	Borda inferior (esquerda ou direita) (Ex: aresta 3-2)	1
3	Canto inferior adjacente (Ex: aresta 6-3)	1
4	Esquina inferior (Ex: canto 6-2-3)	1
5	Esquina inferior adjacente (Ex: canto 1-6-2)	1

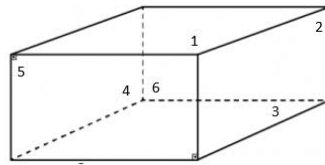


Figura 35 - Arestas e cantos da embalagem

Tendo em conta estes procedimentos, foram realizados dois testes de queda com duas amostras da embalagem da proposta 1.



Figura 36 - Resultados dos testes de queda para a embalagem da proposta 1

O primeiro teste (Figura 36 – em cima) não cumpriu o primeiro critério de aceitação, visto que a peça partiu num dos cantos e apresentava danos bastante visíveis, portanto, não seria aceite como uma peça OK. A embalagem também sofreu alguns danos, no entanto, considerou-se que cumpriu o segundo critério. De uma forma geral, o primeiro teste não foi aprovado.

O segundo teste (Figura 36 – em baixo) seguiu exatamente os mesmos procedimentos e verificou-se que este cumpriu os dois critérios de aceitação. A peça não apresentou qualquer tipo de dano, tendo-se verificado que estava nas mesmas condições de quando tinha sido embalada. Já a embalagem, apesar de ter deixado a peça um pouco exposta, não afetou a sua proteção, visto que é composta por 4 cantos que protegem

as laterais, prevenindo qualquer dano no produto. Por isso, o segundo teste obteve aprovação de acordo com os critérios estabelecidos.

No entanto, dado que um dos testes foi aprovado e o outro reprovado, considera-se importante que a empresa realize, futuramente, mais ensaios nesta embalagem para perceber se será realmente uma solução viável ou não.

IV.3.5. QUANTIFICAÇÃO DOS GANHOS OBTIDOS

Efetivamente, a alteração da embalagem atual pressupôs uma redução do tempo do processo de embalagem, tal como abordado nos pontos anteriores do capítulo. É fundamental quantificar essa redução em ganhos monetários, pois esse é o foco atual da empresa. Por isso, após uma análise dos valores obtidos para a redução do tempo de ciclo da embalagem, concluiu-se que a melhor abordagem para quantificar os ganhos obtidos seria a contabilização da redução do número de horas de mão de obra necessárias em cada peça. Desta forma, considerou-se que o custo com mão de obra direta (MOD) de cada peça seria igual ao tempo de ciclo para a embalagem de uma peça a multiplicar pelo número de operadores alocados e pelo custo por cada operador. É importante referir que se considerou que o número de operadores alocados era sempre igual a dois, por motivos de dificuldade no manuseamento da peça.

$$\text{Custos com MOD} = \text{Tempo de ciclo da embalagem} \times \text{MOD} \times \text{Custo/operador}$$

Na Tabela 22 encontram-se representadas as percentagens de redução de custos com MOD e o ganho anual estimado, com base na previsão de vendas deste tipo de mercado. É possível concluir que, dada a discrepância dos valores obtidos para o tempo de ciclo nas duas propostas, as reduções estimadas também diferem, apresentando um ganho de 343,03 €/ano para a primeira proposta e um ganho de 1918,16 €/ano para a segunda proposta.

Tabela 22 - Redução de custos com MOD na embalagem

% Redução de Custos de MOD	Proposta 1	Proposta 2
Projeto Vector	10%	49%
P458	5%	31%
P459	5%	31%
P460	13%	58%
P461	13%	58%
P462	13%	58%

P463	13%	58%
Projeto HEV	4%	53%
PHEVCE	4%	53%
PHEVCD	4%	53%
Total Savings/Ano	343,03 €	1 918,16 €

No entanto, além das poupanças possíveis com MOD por peça, as novas propostas de embalagem são também mais económicas devido à alteração do tipo de cartão utilizado na caixa e à alteração do material dos cantos e blocos utilizados para revestir a peça. Por isso, foram analisados os custos atuais para a embalagem de cada peça e, com base nos preços dados pelos fornecedores, foi possível estimar os custos de embalagem para as duas situações. Na Tabela 23 é possível analisar a percentagem de redução de custos de material e a estimativa de ganhos anual também com base nas previsões de venda. A diferença nos valores obtidos está relacionada com o facto de, na proposta 1, não estar incluído o custo de montagem dos cantos, uma vez que não era uma solução viável para esse fornecedor. Já a proposta 2 pressupõe o fornecimento desses cantos já montados (à semelhança do que acontece atualmente) e, por esse motivo, o seu preço é mais elevado, logo prevê-se um ganho significativamente menor.

Tabela 23 - Redução de custos de material na embalagem

% Redução de Custos de Material	Proposta 1	Proposta 2
Projeto Vector	31%	10%
P458	26%	4%
P459	26%	4%
P460	32%	12%
P461	32%	12%
P462	34%	15%
P463	34%	15%
Projeto HEV	15%	11%
PHEVCE	15%	11%
PHEVCD	15%	11%
Total Savings/Ano	7 233,33 €	1 727,15 €

No entanto, tanto a primeira proposta como a segunda pressupõem um investimento inicial relativo à necessidade de os fornecedores deste material investirem em cortantes para os modelos de caixa, cantos e blocos idealizados. Após uma análise simples do *payback* para cada solução proposta, é possível verificar, pela Tabela 24, que o investimento para a proposta 1 seria recuperado em, aproximadamente, 1,1 meses após a sua implementação. Já o investimento para a proposta 2, por

ser consideravelmente mais elevado, seria recuperado após cerca de 7 meses da implementação da melhoria.

Tabela 24 - Comparação das duas propostas de solução

	Redução Custos de Material/ano	Redução Custos com MOD/ano	Ganho anual estimado	Investimento inicial	Payback [anos]
Proposta 1	7 233,33 €	343,03 €	7 576,36 €	670,00 €	0,09
Proposta 2	1 727,15 €	1 918,16 €	3 645,31 €	2 145,00 €	0,59

É possível concluir que, apesar de ambas as propostas serem favoráveis para a empresa relativamente a ganhos associados, é fundamental analisar as vantagens e desvantagens de cada proposta, quer a nível de processo como de redução de custos.

A proposta 1 apresenta um ganho considerável em custos de material, mas, pelo contrário, uma pequena redução de custos com MOD. Já na proposta 2, os ganhos são menores do que no primeiro caso, mas os custos de material e MOD estão mais equilibrados entre si. No entanto, numa perspetiva de melhoria do processo, esta proposta apresenta claramente mais vantagens que a primeira, visto que não há necessidade de pré-montagem de nenhum tipo de material e o processo é bastante mais eficiente.

À data do término do estágio, a empresa ainda não tinha a decisão do cliente sobre a proposta selecionada e, portanto, a melhoria ainda não tinha sido implementada.

Capítulo V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais sobre todo o trabalho efetuado para o projeto e os resultados globais do mesmo. Além disso, são também apontadas as principais limitações do estudo, assim como sugestões de trabalho futuro.

V.1. CONCLUSÃO E CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Os objetivos iniciais do projeto consistiam na aplicação de ferramentas e conceitos *Lean* para a eliminação de desperdícios no processo e, implicitamente, um impacto ao nível dos custos industriais, que pudessem posteriormente ser incluídos no Plano de *Cost Reductions* da fábrica.

No Capítulo IV, foram apresentadas três propostas de melhoria, sendo que a primeira consistiu na aplicação da ferramenta *Value Stream Mapping*, com o intuito de mapear o processo produtivo das portas do sistema de refrigeração dos veículos pesados. A escolha desta ferramenta teve como base a sua adequabilidade ao contexto do projeto e aos objetivos definidos, pois a construção do mapa do estado atual pressupôs um contacto próximo com o chão de fábrica, permitindo identificar oportunidades de melhoria que não seriam detetadas sem este tipo de análise. Além disso, a aplicação da ferramenta num contexto prático implicou um aprofundamento de conhecimentos que não teria sido possível noutro contexto. No entanto, tendo em conta as dificuldades na obtenção de dados para o elaborar o mapa do estado futuro, não foi possível realizar o seu mapeamento. Deste modo, as oportunidades de melhoria foram identificadas no mapa do estado atual e foram propostas ações com base num paralelismo com casos práticos consultados na literatura que apresentaram bons resultados para o mesmo tipo de problemas.

A segunda proposta de melhoria foi o resultado da implementação de uma das oportunidades de melhoria identificadas com a elaboração do VSM, que consistia na redução do tempo de *setup* da montagem. Após a análise das tarefas realizadas no *setup*, foi possível verificar que a tarefa mais dispendiosa a nível de tempo era relativa a abastecimentos aos postos de trabalho e, por esse motivo, considerou-se que a ação a implementar seria um novo método de abastecimento realizado por pessoas indiretas da produção. Além disso, durante a fase de análise do processo foi possível identificar que o abastecimento de componentes ao posto era uma tarefa pouco ergonómica, com potenciais riscos de lesões para os operadores. A proposta de solução consistiu num novo método de abastecimento com caixas retornáveis de menor peso e dimensões baseado no sistema *kanban*, e que fosse realizado por uma pessoa externa ao posto de trabalho, eliminando a necessidade dos operadores realizarem abastecimentos e, conseqüentemente reduzindo de forma significativa o tempo de *setup* na montagem. Foi possível quantificar uma redução do risco de lesões músculo-esqueléticas em 50% e uma redução esperada no tempo de *setup* de 70%. De uma forma geral, a

redução de paragens nos postos de trabalho da montagem permitiria melhorar a sua produtividade em cerca de 12%.

O terceiro capítulo teve como objetivo solucionar um problema previamente identificado pela empresa relativamente à embalagem das portas para o mercado *aftermarket*. O principal objetivo deste estudo era desenvolver um novo modelo de caixa que permitisse reduzir ou eliminar os desperdícios existentes no processo, neste caso, uma redução do tempo de embalagem para o mínimo possível e a adaptação da embalagem a várias referências de peças, numa perspetiva de *standardização*. Deste modo, foram propostos dois modelos de embalagens distintos que permitiram estimar uma redução do tempo de ciclo de embalagem de 9% e 34%. Além disso, as duas propostas para a nova embalagem apresentavam menores custos de material, sendo uma vantagem para a empresa. De uma forma geral, os ganhos estimados foram de 7 576,36€ para a primeira solução e de 3 645,31€ para a segunda solução e, nos dois casos, o *payback* seria inferior a um ano. No entanto, à data de término do estágio, a melhoria ainda não estava implementada e não foi possível estimar o ganho real da mesma.

De uma forma geral, considera-se que os objetivos propostos para este projeto foram cumpridos, uma vez que o foco do mesmo foi na melhoria da eficiência e qualidade do processo produtivo e na eliminação de desperdícios, em que se procurou que as propostas de melhoria fossem adequadas à realidade da empresa, salientando a importância e vantagem das ferramentas *Lean* para essa transição. Além disso, as melhorias propostas pretenderam solucionar os objetivos propostos pela empresa no estágio curricular, que consistiam na otimização do processo com especial foco nas ações que pudessem ter associadas uma possível redução de custos. Numa perspetiva pessoal, o projeto realizado foi fundamental para consolidar conceitos e temas abordados, sobretudo na temática *Lean*, e também para compreender a sua aplicação prática num contexto real, em particular num tipo de indústria tão exigente como a indústria automóvel. Efetivamente, todas as dificuldades sentidas ao longo do projeto e do estágio foram consideradas uma mais-valia para o desenvolvimento pessoal e profissional, permitindo desenvolver *soft* e *hard skills* que certamente serão úteis no futuro.

V.2. LIMITAÇÕES E SUGESTÕES DE TRABALHO FUTURO

Um projeto na área de melhoria contínua nunca está totalmente finalizado pois, como o próprio nome indica, a melhoria não é algo estático, mas sim um processo dinâmico e iterativo que é feito ao longo do tempo.

Durante a realização do projeto, existiram algumas limitações que tiveram impacto no seu desenvolvimento. Salienta-se a dificuldade sentida na implementação e obtenção de resultados das melhorias propostas, já que pressupunham a intervenção de vários departamentos e, em alguns casos, também o contacto com fornecedores externos. Por esse motivo, o avanço das propostas

acabou por ficar condicionado, não sendo possível a sua total implementação nem uma análise real do seu impacto no processo.

Uma vez que as propostas de melhoria não chegaram a ser implementadas, as sugestões de trabalho futuro seriam trabalhar nesse sentido. Relativamente às ações de melhoria propostas no âmbito da aplicação do VSM, a empresa poderá apostar no estudo mais aprofundado dessas ações, nomeadamente, a sua viabilidade de aplicação e os objetivos concretos que pretende atingir. Por exemplo, na implementação da metodologia SMED seria importante definir um valor objetivo para a duração do *setup* na moldação, que permitisse aumentar a capacidade de resposta deste processo. Relativamente à diminuição da taxa de rejeições de pintura, em que foram sugeridas diversas ações, umas que não implicavam investimento e outras que pressupunham investimentos, a empresa pode optar por, numa fase inicial, implementar as ações que não pressupõe investimentos e, a longo prazo, realizar uma análise de custo-benefício relativamente às ações com investimentos de modo a perceber se seria vantajoso a nível financeiro a sua implementação. No entanto, a proposta de redução dos níveis de *stock* implicaria mudança abrupta em todo o processo produtivo, incluindo grandes alterações na forma como é realizado o planeamento da produção. Por isso, a viabilidade desta proposta de melhoria teria de ser estudada e analisada e teria de ser estudado o dimensionamento dos supermercados para cada processo, de modo a equilibrar os níveis de *WIP* e produto acabado.

Relativamente à redução do tempo de *setup* da montagem e à proposta do novo sistema de abastecimento, teria de ser definida uma pessoa externa à produção e colocar em prática o funcionamento do sistema *kanban* entre o armazém principal de componentes e o bordo de linha. Posteriormente, deveria ser realizada uma nova medição dos tempos de *setup* destes postos para verificar o impacto da melhoria.

Por fim, na proposta de desenvolvimento de uma nova embalagem para as peças de reposição, seria necessário definir qual a proposta a implementar, sendo que essa decisão seria tomada pelo cliente e, posteriormente, realizar novas medições de tempos para comprovar o sucesso desta proposta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223–236. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2006.09.009>
- Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems, (2016). <https://doi.org/10.1520/D4169-16>
- Burganova, N., Grznar, P., Gregor, M., & Mozol, Š. (2021). Optimisation of Internal Logistics Transport Time through Warehouse Management: Case Study. *Transportation Research Procedia*, 55, 553–560. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2021.07.021>
- Coimbra, E. (2013). *Kaizen in Logistics and Supply Chains*. McGraw-Hill Professional.
- Coutinho, C. P., Sousa, A., Dias, A., Bessa, F., Ferreira, M. J. R. C., & Vieira, S. R. (2009). Investigação-acção: metodologia preferencial nas práticas educativas. *Revista Psicologia, Educação e Cultura*. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10148>
- Dhingra, A. K., Kumar, S., & Singh, B. (2019). Cost reduction and quality improvement through Lean-Kaizen concept using value stream map in Indian manufacturing firms. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 10(4), 792–800. <https://doi.org/10.1007/S13198-019-00810-Z/FIGURES/7>
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *OPERATIONS MANAGEMENT Sustainability and Supply Chain Management* (12th edition). Pearson Education, Inc. . www.pearsonhighered.com
- Hicks, B. J. (2007). Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*, 27(4), 233–249. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2006.12.001>
- King, P. L. (2009). *Lean for the Process Industries : Dealing with Complexity*. CRC Press.
- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2015). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *Https://Doi.Org/10.1080/00207543.2015.1055349*, 54(6), 1708–1720. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349>
- Lian, Y.-H., & Landeghem, H. Van. (2002). AN APPLICATION OF SIMULATION AND VALUE STREAM MAPPING IN LEAN MANUFACTURING. *Proceedings 14h European Simulation*

Symposium.

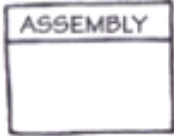

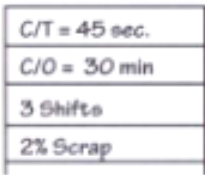





- Martins, D. (2014). *Melhoria do processo produtivo na indústria de componentes para automóvel* [Universidade de Aveiro]. <https://ria.ua.pt/handle/10773/14974>
- Mayr, A., Weigelt, M., Kühn, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., & Franke, J. (2018). Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 72, 622–628. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2018.03.292>
- McNiff, J., & Whitehead, J. (2006). All you need to know about Action Research - An introduction. In *Forum Qualitative Sozialforschung* (Vol. 8, Issue 3). SAGE Publications.
- Melnikovas, A. (2018). Towards an explicit research methodology: Adapting research onion model for futures studies. *Journal of Futures Studies*, 23(2), 29–44. [https://doi.org/10.6531/JFS.201812_23\(2\).0003](https://doi.org/10.6531/JFS.201812_23(2).0003)
- Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), 662–673. <https://doi.org/10.1205/CHERD.04351>
- Nunes, I. L., & Machado, V. C. (2007). Merging ergonomic principles into lean manufacturing. *IIE Annual Conference and Expo 2007 - Industrial Engineering's Critical Role in a Flat World - Conference Proceedings*, 836–841.
- Ohno, T. (2014). How the Toyota Production System was Created. [Http://Dx.Doi.Org/10.2753/JES1097-203X100483](http://Dx.Doi.Org/10.2753/JES1097-203X100483), 10(4), 83–101. <https://doi.org/10.2753/JES1097-203X100483>
- Oliveira, J. P. A. (2015). *Engenharia de embalagens Propostas de acondicionamento na indústria de autorrádios Universidade do Minho Escola de Engenharia* [Universidade do Minho]. [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/39849/1/Dissertação José Oliveira.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/39849/1/Dissertação%20José%20Oliveira.pdf)
- Pavlovic, D., Milosavljevic, P., Mladenovic, S., Pavlović, D., Milosavljević, P., & Mladenović, S. (2020). Synergy between Industry 4.0 and Lean Methodology. In *Journal of Mechatronics, Automation and Identification Technology* (Vol. 5, Issue 4). <https://www.researchgate.net/publication/348651146>
- Pereira, A. C., Dinis-Carvalho, J., Alves, A. C., & Arezes, P. (2019). How Industry 4.0 can enhance lean practices. *FME Transactions*, 47(4), 810–822. <https://doi.org/10.5937/fmet1904810P>
- Rohac, T., & Januska, M. (2015). Value Stream Mapping Demonstration on Real Case Study. *Procedia Engineering*, 100(January), 520–529.

<https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.01.399>

- Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., & Campilho, R. (2017). SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 13, 1034–1042. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2017.09.110>
- Rother, M., & Shook, J. (2003). Learning to See Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. In *Lean Enterprise Institute Brookline*. <https://doi.org/10.1109/6.490058>
- Saunders, M., Lewis, P., & Tornhill, A. (2007). Research Methods for Business Students. In *Pearson Education Limited 2* (Fourth Edi).
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System* (1st Editio). Productivity Press.
- Sohel Ahmed, B., Shafiqul Islam Chowdhury, M., Ahmed α , S., & Shafiqul Islam Chowdhury β , M. (2018). Increase the Efficiency and Productivity of Sewing Section through Low Performing Operators Improvement by using Eight Wastes of Lean Methodology. *Global Journal of Research In Engineering*, 18. <https://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/1744>
- Stevenson, W. J. (2017). *Operations Management* (13th edition). McGraw-Hill Education.
- Valamede, L. S., & Santos Akkari, A. C. (2020). Lean Manufacturing and Industry 4.0: A Holistic Integration Perspective in the Industrial Context. *ICITM 2020 - 2020 9th International Conference on Industrial Technology and Management*, 63–68. <https://doi.org/10.1109/ICITM48982.2020.9080393>
- Venkataraman, K., Ramnath, B. V., Kumar, V. M., & Elanchezhian, C. (2014). Application of Value Stream Mapping for Reduction of Cycle Time in a Machining Process. *Procedia Materials Science*, 6, 1187–1196. <https://doi.org/10.1016/J.MSPRO.2014.07.192>
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP*, 63, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>
- Waters, T. R. (Ph. D.), Putz–Anderson, V. (Ph. D.), & Garg, A. (Ph. D. (1994). Applications manual for the revised NIOSH lifting equation. *Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health*. <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB94110revised092021>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation* (Simon and Schuster (ed.)).

ANEXOS

Anexo 1. SIMBOLOGIA DO VSM (ROTHER & SHOOK, 2003)

Material Icons	Represents	Notes
	Manufacturing Process	One process box equals an area of flow. All processes should be labeled. Also used for departments, such as Production Control.
	Outside Sources	Used to show customers, suppliers, and outside manufacturing processes.
	Data Box	Used to record information concerning a manufacturing process, department, customer, etc.
	Inventory	Count and time should be noted.
	Truck Shipment	Note frequency of shipments.
	Movement of production material by <u>PUSH</u>	Material that is produced and moved forward before the next process needs it; usually based on a schedule.
	Movement of finished goods to the customer	
	Supermarket	A controlled inventory of parts that is used to schedule production at an upstream process.

Material Icons**Represents****Notes**

Withdrawal

Pull of materials, usually from a supermarket.



Transfer of controlled quantities of material between processes in a "First-In-First-Out" sequence.

Indicates a device to limit quantity and ensure FIFO flow of material between processes. Maximum quantity should be noted.

Information Icons**Represents****Notes**

Manual Information flow

For example: production schedule or shipping schedule.



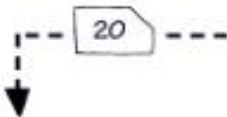
Electronic Information flow

For example via electronic data interchange.



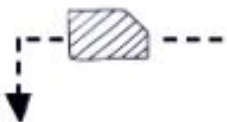
Information

Describes an information flow.



Production Kanban
(dotted line indicates kanban path)

The "one-per-container" kanban. Card or device that tells a process how many of what can be produced and gives permission to do so.






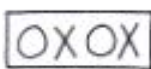




Withdrawal Kanban

Card or device that instructs the material handler to get and transfer parts (i.e. from a supermarket to the consuming process).



Signal Kanban

The "one-per-batch" kanban. Signals when a reorder point is reached and another batch needs to be produced. Used where supplying process must produce in batches because changeovers are required.

Information Icons	Represents	Notes
	Sequenced-Pull Ball	Gives instruction to immediately produce a predetermined type and quantity, typically one unit. A pull system for subassembly processes without using a supermarket.
	Kanban Post	Place where kanban are collected and held for conveyance.
	Kanban Arriving in Batches	
	Load Leveling	Tool to intercept batches of kanban and level the volume and mix of them over a period of time.
	"Go See" Production Scheduling	Adjusting schedules based on checking inventory levels.
General Icons	Represents	Notes
	"Kaizen Lightning Burst"	Highlights improvement needs at specific processes that are critical to achieving the value stream vision. Can be used to plan kaizen workshops.
	Buffer or Safety Stock	"Buffer" or "Safety Stock" must be noted.
	Operator	Represents a person viewed from above.

Anexo 2. MULTIPLICADOR DE FREQUÊNCIA (FM) (WATERS ET AL., 1994)

Frequency Lifts/min (F) [‡]	Work Duration					
	≤1 Hour		>1 but ≤2 Hours		>2 but ≤8 Hours	
	V<30 [†]	V≥30	V<30	V≥30	V<30	V≥30
≤0.2	1.00	1.00	.95	.95	.85	.85
0.5	.97	.97	.92	.92	.81	.81
1	.94	.94	.88	.88	.75	.75
2	.91	.91	.84	.84	.65	.65
3	.88	.88	.79	.79	.55	.55
4	.84	.84	.72	.72	.45	.45
5	.80	.80	.60	.60	.35	.35
6	.75	.75	.50	.50	.27	.27
7	.70	.70	.42	.42	.22	.22
8	.60	.60	.35	.35	.18	.18
9	.52	.52	.30	.30	.00	.15
10	.45	.45	.26	.26	.00	.13
11	.41	.41	.00	.23	.00	.00
12	.37	.37	.00	.21	.00	.00
13	.00	.34	.00	.00	.00	.00
14	.00	.31	.00	.00	.00	.00
15	.00	.28	.00	.00	.00	.00
>15	.00	.00	.00	.00	.00	.00

[†]Values of V are in inches.

[‡]For lifting less frequently than once per 5 minutes, set F=2 lifts/minute.

Anexo 3. MULTIPLICADOR DE PEGA (CM) (WATERS ET AL., 1994)

Coupling Type	Coupling Multiplier	
	V<30 inches (75 cm)	V≥30 inches (75 cm)
Good	1.00	1.00
Fair	0.95	1.00
Poor	0.90	0.90

Anexo 4. VALORES DE COMPENSAÇÃO PARA O DESEMPENHO DO TRABALHO (STEVENSON, 2017)

Percent		Percent	
A. Constant allowances:		4. Bad light:	
1. Personal allowance	5	a. Slightly below recommended	0
2. Basic fatigue allowances	4	b. Well below	2
B. Variable allowances:		c. Very inadequate	5
1. Standing allowance	2	5. Atmospheric conditions	
2. Abnormal position allowance:		(heat and humidity)—variable	0–10
a. Slightly awkward	0	6. Close attention:	
b. Awkward (bending	2	a. Fairly fine work	0
c. Very awkward (lying, stretching)	7	b. Fine or exacting	2
C. Use of force or muscular energy		c. Very fine or very exacting	5
(lifting, pulling, or pushing):		7. Noise level:	
Weight lifted (in pounds):		a. Continuous	0
5	0	b. Intermittent—loud	2
10	1	c. Intermittent—very loud	5
15	2	d. High-pitched—loud	5
20	3	8. Mental strain:	
25	4	a. Fairly complex process	1
30	5	b. Complex or wide span of attention	4
35	7	c. Very complex	8
40	9	9. Monotony:	
45	11	a. Low	0
50	13	b. Medium	1
60	17	c. High	4
70	22	10. Tediousness:	
		a. Rather tedious	0
		b. Tedious	2
		c. Very tedious	5

Anexo 5. EXEMPLO DE UMA BILL OF MATERIALS (BOM) (PHEVLD)

Item fabricado		75821038		Fabricado		Unidade de estoque: uni		Lead time ordem: 0 Dias		Quantidade da BOM: 1 uni											
Descrição		P.HEV LAT D 79-60936-01, LINHA																			
Revisão																					
Nível	Posição	Opr	Arma- zém	Usar arm ft	Un. ent arm.	Sel lot	Revi- são	Data de efetividade Data de vencimento	Comprimento [m]	Largura [m]	Nº de unid. est.	Unid. est.	Qtd. líquida	Perc perda	Quantidade perda	Informação extra					
Item 1	: 68821017 10/ 1 20	L1100	Não	IPL	Qual			P.HEV LAT-D-58-70060-01, Liso 2000-01-01 00:00:00 2038-01-18 00:00:00			uni		1,0000	0,00	0,0000						
Item 2	: 62821015 10/ 1 10	L1100	Não	IPL	Qual			P.HEV LAT D. 58-70060-01, NUA 2000-01-01 00:00:00 2038-01-18 00:00:00			uni		1,0000	0,00	0,0000						
Item ..3	: 10201238 10/ 1 20	L0100	Não	IPL	Qual			SMC LP 2521 R27 BIANCO 2000-01-01 00:00:00 2038-01-18 00:00:00			kg		5,8000	5,50	0,0000						
Item ..3	: 17612034 20/ 1 20	L1100	Não	IPL	Qual			INSERTO QUICK.LATÃO1433M6x15,4 2000-01-01 00:00:00 2038-01-18 00:00:00			un		8,0000	0,00	0,0000						
Item de roteiro		: 62821015		Roteiro padrão: Não		P.HEV LAT D. 58-70060-01, NUA		Quant. roteiro: 1													
Roteiro		: R01																			
Ope- ração		Tarefa		Descrição		Data de efetividade		Data de vencimento		Centro trab		Máquina		Tempo config.		Taxa prod. por [Hora]		Tempo exec		Informação extra	
10/ 1		T0103		Set up		2000-01-01 00:00:00		2038-01-01 00:00:00		LC0121		LM0121		150,000		0,00		0,000			
20/ 1		T0104		Mold. - Molda		2000-01-01 00:00:00		2038-01-01 00:00:00		LC0121		LM0121		0,000		16,00		3,670			
Item 2	: 15404266 20/ 1 10	L1100	Não	IPL	Qual			ESMALTE BRANCO LISO brilho80% 2000-01-01 00:00:00 2038-01-18 00:00:00			kg		0,3750	5,50	0,0000						
Item 2	: 15511062 30/ 1 10	L1100	Não	IPL	Qual			ENDURECEDOR D841 I-XP841-FL 2000-01-01 00:00:00 2038-01-18 00:00:00			kg		0,0600	5,50	0,0000						
Item 2	: 15511125 40/ 1 10	L1100	Não	IPL	Qual			DILUENTE XPS90009 2000-01-01 00:00:00 2038-01-18 00:00:00			kg		0,0750	0,00	0,0000						
Item de roteiro		: 68821017		Roteiro padrão: Não		P.HEV LAT-D-58-70060-01, Liso		Quant. roteiro: 1													
Roteiro		: R01																			
Ope- ração		Tarefa		Descrição		Data de efetividade		Data de vencimento		Centro trab		Máquina		Tempo config.		Taxa prod. por [Hora]		Tempo exec		Informação extra	
10/ 1		T0601		Pint. - Pintu		2000-01-01 00:00:00		2038-01-01 00:00:00		LC0610		LM0610		5,000		42,00		1,429			
Item 1	: 21919104 20/ 1 20	L1100	Não	IPL	Qual			Dobradica 44-60213-00 B 2000-01-01 00:00:00 2038-01-18 00:00:00			un		1,0000	0,00	0,0000						
Item 1	: 21919105 30/ 1 20	L1100	Não	IPL	Qual			Dobradica 44-60214-00 B 2000-01-01 00:00:00 2038-01-18 00:00:00			un		1,0000	0,00	0,0000						
Item 1	: 21919106 40/ 1 20	L1100	Não	IPL	Qual			Dobradica 44-60215-00 C 2000-01-01 00:00:00 2038-01-18 00:00:00			un		1,0000	0,00	0,0000						
Item 1	: 17304058 50/ 1 20	L1100	Não	IPL	Qual			PARAFUSO M6x16 INOXM6*16 2000-01-01 00:00:00 2038-01-18 00:00:00			uni		8,0000	0,00	0,0000						

Anexo 6. CÁLCULO DOS KANBANS PARA O BORDO DE LINHA

Letra				a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	Tipo de caixa
Parâmetros			Consumo médio	Consumo médio	Lead time médio	Varição de consumo	Varição de Lead time	Dimensão da caixa	Stock para o ciclo de abastecimento	Stock de segurança para avariação de consumo	Stock de segurança para a variação de Lead time	Tamanho do supermercado	Tamanho do supermercado	
Fórmula									a*b	f*c	(f+g)*d	2*(f+g+h)+e	i/e	
Unidades			comp/dia	comp/h	h	%	%	comp/caixa	comp	comp	comp	comp	caixas	
Posto	Ref. Comp	Componente												
LC0830	12700001	PATILHA 68-12915-00	98	4	24	58%	0%	500	98	57	0	809	2	Caixa Nova
LC0831	12700001	PATILHA 68-12915-00	98	4	24	58%	0%	500	98	57	0	809	2	Caixa Nova
LC0831	12700002	SUPORTE 68-61668-00	98	4	24	56%	0%	150	98	55	0	455	4	Caixa Nova
LC0831	12700003	CONJ. FECHO 79-60464-00	49	2	24	56%	0%	15	49	27	0	167	12	F
LC0830	21919012	DOBRADIÇA 44-00461-00	49	2	24	56%	0%	35	49	27	0	187	6	Caixa Nova
LC0831	21919012	DOBRADIÇA 44-00461-00	49	2	24	56%	0%	35	49	27	0	187	6	Caixa Nova
LC0831	21919016	DOBRADIÇ. CTR.SUP.D.44-00381-01	49	2	24	56%	0%	30	49	27	0	182	7	Caixa Nova
LC0830	21919018	DOBRAD. CTR.SUP.ESQ.44-00381-00	49	2	24	0%	0%	30	49	0	0	128	5	Caixa Nova
LC0831	21919019	DOBRAD.LAT.SUP.DIR.44-00382-01	49	2	24	58%	0%	35	49	28	0	190	6	Caixa Nova
LC0830	21919022	DOBRAD.LAT.SUP.ESQ. 44-0382-00	49	2	24	0%	0%	35	49	0	0	133	4	Caixa Nova
LC0830	21919083	DOBRADIÇA 44-60153	49	2	24	58%	0%	120	49	29	0	275	3	Caixa Nova
LC0831	21919083	DOBRADIÇA 44-60153	49	2	24	58%	0%	120	49	28	0	275	3	Caixa Nova
LC0830	21919084	DOBRADIÇA 44-60154-00	98	4	24	56%	0%	100	98	54	0	404	5	Caixa Nova
LC0831	21919084	DOBRADIÇA 44-60154-00	98	4	24	56%	0%	100	98	54	0	404	5	Caixa Nova
LC0830	21919104	Dobradiça 44-60213-00 B	36	2	24	41%	0%	85	36	15	0	187	3	Caixa Nova
LC0831	21919104	Dobradiça 44-60213-00 B	36	2	24	41%	0%	85	36	15	0	187	3	Caixa Nova
LC0830	21919105	Dobradiça 44-60214-00 B	36	2	24	41%	0%	40	36	15	0	142	4	Caixa Nova
LC0831	21919105	Dobradiça 44-60214-00 B	36	2	24	41%	0%	40	36	15	0	142	4	Caixa Nova
LC0830	21919106	Dobradiça 44-60215-00 C	36	2	24	41%	0%	85	36	15	0	187	3	Caixa Nova
LC0831	21919106	Dobradiça 44-60215-00 C	36	2	24	41%	0%	85	36	15	0	187	3	Caixa Nova
LC0830	21919109	Dobradiça 44-60219-00 B	36	1	24	51%	0%	60	36	18	0	168	3	Caixa Nova
LC0831	21919109	Dobradiça 44-60219-00 B	36	1	24	51%	0%	60	36	18	0	169	3	Caixa Nova
LC0831	21919110	MECANISMO DE FECHO 79-60930-	36	1	24	51%	0%	10	36	18	0	119	12	F
LC0831	21919111	Dobradiça 44-60217-10	36	1	24	51%	0%	40	36	18	0	149	4	Caixa Nova
LC0830	21919112	Dobradiça 44-60217-11	36	1	24	0%	0%	40	36	0	0	112	3	Caixa Nova
Total													115	
Caixa Nova													91	
Caixa F													24	

