



**RAFAEL SANTIAGO
DE ABRANTES**

**OPTIMIZAÇÃO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO
APLICANDO A METODOLOGIA *LEAN***



**RAFAEL SANTIAGO
DE ABRANTES**

**OPTIMIZAÇÃO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO
APLICANDO A METODOLOGIA *LEAN***

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 Doutora Marlene Paula Castro Amorim, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho aos meus pais, irmão e amigos que fizeram de mim o que sou hoje.

o júri

presidente

Prof. Doutor José António de Vasconcelos Ferreira

Professor Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Maria Antónia da Silva Lopes Carravilla

professora associada da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutora Marlene Paula Castro Amorim

Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Aos meus pais pela educação e formação que me proporcionaram.

Ao meu irmão pelo apoio e exemplo que sempre foi e é para mim.

À Universidade de Aveiro, em especial à Professora Doutora Marlene Amorim pelo acompanhamento, motivação e paciência ao longo do projeto.

Ao Engenheiro Luís Neves pelo apoio e orientação neste projeto.

Ao Engenheiro Carlos Mingatos pelo apoio e amizade que sempre demonstrou.

À Epedal S.A, pela oportunidade de desenvolver este projeto e aos seus colaboradores, em particular àqueles que mais diretamente contribuíram para este projeto.

palavras-chave

Lean manufacturing, value stream mapping, workshop kaizen, muda.

resumo

O presente trabalho descreve um projeto de otimização de uma linha de produção no âmbito da indústria automóvel. O projeto teve como objetivo principal a redução de desperdícios no processo produtivo, através da aplicação da metodologia e ferramentas de *lean manufacturing*. O trabalho desenvolvido traduziu-se na melhoria de alguns indicadores de desempenho da produção, tais como: níveis de *stock* intermédio, *lead times*, distâncias percorridas pelos componentes no processo produtivo, e os níveis de produtividade em geral.

Os resultados alcançados demonstram como a adoção de uma abordagem de mudança disruptiva pode contribuir para a otimização de uma linha de produção, nomeadamente através da realização de *workshops kaizen*.

keywords

Lean manufacturing, value stream mapping, workshop kaizen, muda.

abstract

The present work describes a project devoted to the optimization of a production line in the automotive industry.

The main goal of the project was the reduction of waste in the production process, supported by a lean manufacturing approach. The project results were reflected in the improvement of some production performance indicators such as: stock levels, lead times, distances travelled by some production components in the production process, and an overall improvement in productivity.

The results achieved with this project illustrate how a disruptive approach to change can contribute to the optimization of a production line, notably through the conduction of kaizen workshops.

ÍNDICE

1. Introdução	1
2. Enquadramento Teórico.....	3
2.1 Lean manufacturing	3
2.1.1 Princípios do <i>Lean Manufacturing</i>	4
2.1.2 <i>Muda</i>	6
2.2 Desenho de Processos.....	9
2.2.1 O papel das ferramentas <i>lean</i>	10
2.2.2 <i>Kaizen vs kaikaku</i>	11
2.2.3 Layouts	12
2.3 Ferramentas <i>Lean</i>.....	15
2.3.1 <i>Value Stream Mapping</i>	15
2.3.2 Cinco S's.....	24
2.3.3 Trabalho Padronizado	25
2.3.4 Poka-yoke.....	27
2.4 Medição do Desempenho	28
3. Aplicação de Ferramentas <i>lean</i> na empresa Epedal S.A.....	31
3.1 Epedal, Indústria de Componentes Metálicos, S.A.....	31
3.1.1 Produtos e Clientes.....	33
3.1.2 Processo Produtivo	34
3.2 Apresentação do problema	36
3.2.1 Descrição do problema.....	37
3.3 Aplicação de ferramentas <i>Lean</i>.....	39
3.3.1 Passo 1 – Seleção da família de produtos	39
3.3.2 Passo 2 – Desenhar o estado atual.....	39
3.3.3 Passo 3 – Desenhar o estado futuro.....	47

3.3.4 Passo 4 – Atingir o estado futuro	54
4. Reflexão sobre os resultados alcançados e Conclusão	55
4.1 Reflexão sobre os resultados alcançados	55
4.2 Conclusão	58
Referências Bibliográficas	59
Anexos	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Exposição dos problemas pela redução do <i>stock</i>	7
Figura 2 - O <i>Value Stream Mapping</i> total	15
Figura 3 - Etapas do <i>Value Stream Mapping</i>	17
Figura 4 - Exemplo do <i>Value Steam Mapping</i> do estado inicial	19
Figura 5 - Sistema supermercado <i>pull</i>	21
Figura 6 - Seleção do "processo <i>pacemaker</i> "	21
Figura 7 - Epedal S.A	31
Figura 8 - Organigrama geral da Epedal S.A	32
Figura 9 - (a) Suporte da cortina de airbag e da pega e (b) Gancho de reboque ..	33
Figura 10 - Gráfico das vendas da Epedal S.A de 2003 a 2010	34
Figura 11 - Esquema geral do processo produtivo da Epedal S.A.....	35
Figura 12 - Suporte do Filtro de Ar.....	36
Figura 13 - <i>Layout</i> inicial do Suporte do Filtro de Ar.....	40
Figura 14 - (a) Serrote Mecânico e (b) Máquina CNC	40
Figura 15 - (a) Prensa Hidráulica 30 T e (b) Prensa 400 T e Engenho de Furar...	41
Figura 16 - Célula de Soldadura	41
Figura 17 - Ilustração da disposição das operações na P400 e Engenho de Furar	43
Figura 18 - Ilustração da disposição das operações na Célula de Soldadura	43
Figura 19 - <i>Poka-yoke</i> de Embalamento	44
Figura 20 - <i>Value Stream Mapping</i> do estado inicial	45
Figura 21 - (a) Início da calha e (b) Fim da calha	49
Figura 22 - Rack de abastecimento.....	49
Figura 23 - Painel de Ferramentas.....	50

Figura 24 - Painel de utensílios de limpeza.....	50
Figura 25 - (a) Célula de Soldadura Antiga e (b) Célula de Soldadura Nova	51
Figura 26 - (a) P400 Antes e (b) P400 Depois	51
Figura 27 - <i>Poka-yoke</i> de Embalamento com Sistema Pneumático de Verificação de Furação.....	52
Figura 28 - <i>Layout</i> final do Suporte do Filtro de Ar	53
Figura 29 - <i>Value Stream Mapping</i> do estado Futuro.....	53
Figura 30 - <i>Output</i> do cálculo do OEE do mês de Abril de 2012.....	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - <i>Stock</i> intermédio e Distância percorrida por T1 e T2	46
Tabela 2 - Variação dos principais indicadores.....	55

1. INTRODUÇÃO

O sucesso das organizações está cada vez mais dependente da sua capacidade de constante adaptação e adoção das melhores práticas de gestão e produção. A realidade económica nacional e internacional tem levado cada vez mais as empresas a procurarem a eliminação dos desperdícios e redução de custos do processo produtivo. Neste contexto o *lean manufacturing* apresenta-se como uma metodologia de produção que assenta precisamente nesses princípios.

O principal objetivo deste projeto é a otimização de uma linha de produção. O *stock* intermédio, *lead time*, produtividade e distância percorrida pelos componentes são os principais indicadores que se pretendem melhorar. Para tal foram aplicadas ferramentas da metodologia *lean manufacturing*. Recorrendo a uma abordagem disruptiva, enquadrada numa estratégia de melhoria contínua. Através da realização de um *workshop kaizen* e tendo como base a análise do *value stream mapping* para a aplicação de outras ferramentas *lean*.

O projeto é desenvolvido no âmbito do estágio curricular do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Aveiro. O estudo de caso é aplicado à Epedal SA, situada em Sangalhos, uma empresa cuja atividade incide na produção de componentes metálicos para a indústria automóvel.

No capítulo seguinte é apresentado o enquadramento teórico suportado pela bibliografia consultada. Inicialmente é abordado o conceito de *lean manufacturing* e os princípios em que este assenta. Em seguida é abordado como a aplicação do *lean manufacturing* pode levar ao redesenho de processos e por fim são apresentadas as ferramentas *lean* usadas neste projeto. No capítulo 3 é introduzido o caso de estudo. É realizada uma apresentação da organização e do seu processo de produtivo. Em seguida é apresentado o problema em estudo e os passos tomados na sua abordagem.

No capítulo 4 é efetuada uma reflexão dos resultados obtidos e apresentadas as principais conclusões da realização deste projeto.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1 *Lean manufacturing*

A metodologia *Lean Manufacturing* aparece com o sistema de produção da Toyota (*Toyota Production System* ou TPS) que começou a ser desenvolvido a partir dos anos 40, no Japão. Após a Segunda Guerra Mundial, o Japão estava mergulhado numa grave crise económica, com infra-estruturas destruídas, não dispondo de muitos recursos materiais e financeiros. Com estas limitações como pano de fundo Shigeo Shingo (1909-90) e Taiichi Ohno (1912-90), considerados os “pais” do TPS, pretenderam implementar na Toyota um sistema de produção no qual o seu principal objetivo era a eliminação do desperdício tendo no entanto, sempre em vista a satisfação do cliente.

O TPS foi ganhando adeptos por todo a Japão nas décadas seguintes, chegando posteriormente aos Estados Unidos. Vários nomes Foram sendo utilizados para definir esta filosofia de produção. Em 1990 James P. Womack, Daniel Roos e Daniel T. Jones no livro “*The Machine Taht Changed The World*” aplicam pela primeira vez o termo “*lean*”. Surge pelo facto de serem necessários menos recursos comparado com a produção em massa¹. Menos esforço humano, menos equipamento, menos tempo e espaço, e menos *stock* em curso. Resultando em menos defeitos, produzindo produtos com mais qualidade e mais variedade. Tendo sempre em vista o que o cliente quer, procurando sempre satisfazer os seus desejos e se possível excedendo as suas expectativas em relação a um produto ou serviço.

¹ Tipo de produção popularizada por Henry Ford, que consiste na produção em larga escala de produtos padronizados através de linhas de montagem.

2.1.1 Princípios do *Lean Manufacturing*

Segundo Womack e Jones (2003) o *lean manufacturing* assenta em cinco princípios:

- **Especificação do valor:** Este é o ponto de partida para a implementação do *lean*. Ao enunciarem este princípio Womack e Jones (2003) afirmaram:

The critical starting point for lean thinking is value. Value can only be defined by the ultimate customer. And it's only meaningful when expressed in terms of a specific product (a good or a service, and often both at once), which meets the customer's needs at a specific price at a specific time. (p. 16).

Assim sendo, segundo estes autores, deve focar-se essencialmente o cliente aquando a especificação e criação de valor, é a partir dessa definição que tudo o resto se desenrola.

- **Identificar a cadeia de valor:** Compreende-se por “cadeia de valor” o conjunto de todas as atividades necessárias para transformar matérias-primas e informação num produto ou serviço, ou mesmo na combinação dos dois.
- **Fluxo:** Os processos devem ser organizados de forma a criar um fluxo contínuo de materiais e informação, de forma a evitar perdas de tempo e paragens ou deslocações desnecessárias.
- **Sistema Pull:** Consiste em produzir apenas o que o cliente quer, quando ele quer. Implica uma mudança de paradigma do *push*, ou seja, deixa de ser a empresa a empurrar o produto para o cliente, não correspondendo muitas vezes aquilo que este deseja, para o *pull*, ou seja, passa a ser o cliente a puxar o produto desejado.
- **Perfeição:** O objetivo principal do *lean* é a perfeição mas mesmo com a implementação dos princípios referidos anteriormente, não se vislumbra fim para a redução de esforço, tempo, espaço, custos e

erros, de modo a oferecer ao cliente um produto cada vez mais personalizado. No entanto, os desperdícios escondidos no processo produtivo são tornados visíveis devido à interação dos quatro princípios anteriores. Quanto mais se puxa (*pull*) mais impedimentos ao fluxo que podem ser eliminados surgem, ficando desta forma cada vez mais perto da perfeição.

Segundo Pinto (2009) estes cinco princípios apresentam algumas lacunas, tendo por isso, a Comunidade *Lean Thinking*² proposto a adoção de mais dois princípios, são eles:

- **Conhecer os *stakeholders*:** Devem conhecer-se com detalhe todos os *stakeholders* (todos aqueles que são afetados pela atividade de uma organização) do negócio, não devendo uma organização concentrar-se apenas na satisfação do seu cliente, negligenciando os interesses e necessidades das outras partes interessadas.
- **Inovar constantemente:** Devem ser feitas inovações para criar novos produtos, serviços e processos, isto é, criar valor. As organizações não devem ignorar uma atividade tão fundamental como criar valor através da inovação, ao entrar em infundáveis ciclos de redução de desperdícios. Por exemplo, de nada serve a uma organização ser a mais eficiente a produzir determinado produto, se este for ultrapassado e que já não for de encontro àquilo que o cliente deseja.

² Comunidade *Lean Thinking*, comunidade fundada em 2006 com o propósito de criar e transferir conhecimento do domínio da metodologia *lean* para as organizações empresariais.

2.1.2 Muda

A metodologia *Lean Manufacturing*, surge como antídoto ao *muda* - a palavra japonesa usada para desperdício - num processo produtivo. Fujio Cho, da Toyota, definiu desperdício como “tudo o que está para além da mínima quantidade de equipamento, materiais, peças, espaço e mão-de-obra, estritamente essenciais para acrescentar valor ao produto” (Susaki, 2010, p. 30). Basicamente, tudo o que é executado e não acrescenta valor é considerado desperdício.

Segundo Susaki (2010) uma análise do tempo que os trabalhadores passam na fábrica revela que mais de 95% do seu tempo não é utilizado para acrescentar valor ao produto mas sim para acrescentar-lhe custo. Observa ainda que a análise do material em curso de fabrico revela que este passa mais de 95% do tempo em armazém à espera de ser transportado, processado ou inspeccionado. Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, ao desenvolverem o TPS, identificaram aqueles que consideraram ser os sete principais desperdícios (*mudas*) nas empresas.

- **Sobreprodução:** Um dos piores desperdícios é o excesso de produção, uma vez que cria problemas adicionais e oculta a sua verdadeira causa. Produz-se mais do que é necessário, quando não é necessário, em quantidades desnecessárias. Quando isto se verifica, consomem-se matérias-primas, pagam-se salários e criam-se *stocks* desnecessários. Antecipam-se compras de peças e materiais, aumenta o manuseamento destes e o espaço de armazenamento. Além do aumento da complexidade e necessidade de mais meios para a gestão, a flexibilidade no planeamento diminui.
- **Espera:** Verifica-se quando os trabalhadores ou equipamentos perdem tempo parados à espera de algo. Normalmente é causado pela utilização de grandes lotes de produção porque a linha não está balanceada ou o fluxo está obstruído.
- **Transporte:** Este *muda* diz respeito a qualquer movimentação de pessoas, informação, materiais, partes montadas ou acabadas desnecessária. Os sistemas de transporte e movimentação ocupam

espaço, crescem custos e podem danificar os produtos durante as movimentações.

- **Processo:** As operações e processos desnecessários são também desperdício. Este *muda*, pode também surgir da utilização errada de equipamentos e ferramentas, bem como de procedimentos complexos e incorretos aos quais não foi providenciada a informação adequada.
- **Stock:** Segundo Pinto (2010) o *stock* é a “mãe de todos os males”. É uma consequência da sobreprodução, reflete a presença de materiais retidos por um determinado tempo, dentro ou fora da fábrica. Isto implica mais despesas com manuseamento, espaço ocupado, e por si só representa um custo para a empresa uma vez que é valor estacionado, que está a depreciar com o tempo, sem acrescentar qualquer valor. Além do mais, esconde problemas, na medida em que quanto maior for o *stock* da empresa mais facilmente se contornam problemas sem realmente os resolver (Figura 1).

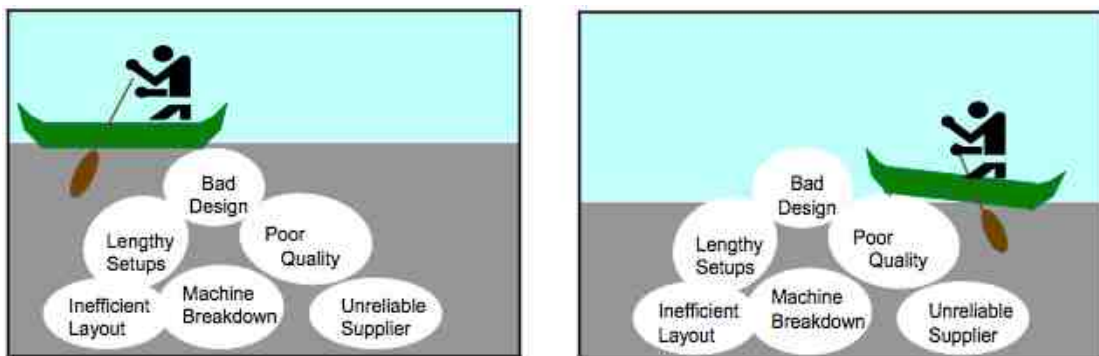


Figura 1 - Exposição dos problemas pela redução do *stock*

Fonte: DEGEI (2009)

- **Movimento:** É importante ressaltar que movimento não é necessariamente trabalho, o movimento por si só não acrescenta valor. Por conseguinte este *muda* diz respeito a todo o movimento que não seja efetivamente necessário para acrescentar valor ao produto. Normalmente verifica-se devido à má organização dos locais de trabalho e despreocupação com a ergonomia, resultando em maus

desempenhos e eficiências inferiores, aumentando o risco de lesões nos operadores.

- **Defeitos:** Dizem respeito a produção de materiais que têm de ser retrabalhados ou que são tidos como sucata. A sucata e o retrabalho representam custos acrescidos, além dos desperdícios relacionados com espera imputados ao posto seguinte, acrescentando custo e *lead time*³ ao produto. Muitas vezes para a empresa compensar a produção defeituosa precisa de recorrer a horas extra, lotes maiores e mais transportes. Quando os defeitos só são detetados pelo cliente é ainda mais grave, pois pode implicar mais custos com garantias e entregas adicionais, tomando em conta que prejudica a imagem junto do cliente e assim são comprometidos negócios futuros e perde-se cota de mercado.

³ *Lead Time*, tempo que decorre desde a entrada da matéria-prima nas instalações da fábrica até à expedição do produto final para o cliente.

2.2 Desenho de Processos

Segundo Štefanić, Tošanović e Hegedić (2012), normalmente associa-se inovação a um novo produto ou serviço, no entanto a inovação também pode ser ao nível do processo. Inovação no processo não implica necessariamente uma maneira totalmente diferente de realizar o trabalho. Inovação pode tomar também a forma de pequenas melhorias que aumentam a produtividade, eficiência, satisfação dos clientes e colaboradores e/ou resultam numa redução de custos. A aplicação da filosofia *lean* pode constituir umas das formas das organizações conseguirem levar a cabo inovação de processos. Štefanić *et al.* (2012) defendem a realização de *workshops kaizen*⁴ como parte do processo de melhoria contínua de uma organização. Estes por vezes levam a inovações nos processos que podem implicar um redesenho do processo produtivo e por conseguinte alteração do *layout*.

Exemplos de trabalhos que documentam como é possível alcançar os objetivos *lean* através do redesenho de processos, incluem autores Aase, Olson e Schniederjans (2004), que mostraram como a produtividade aumenta com a mudança de um *layout* tradicional para um *layout* em forma de “U”. Outros autores como Jeong e Phillips (2011) apresentam um estudo no qual demonstram um conceito de desenvolvimento de processos relacionado com problema da optimização de *layouts* a partir da análise do *Value Stream Mapping* (VSM)⁵. Pois, segundo estes o *Value Stream Mapping* não proporciona nenhuma ferramenta de validação da passagem do estado inicial ao estado futuro. Ou ainda Lu, Jia, Yang e Liu (2011) que no seu artigo demonstram como atingir um *layout “lean”*, através da simulação informática dos *layouts*.

O trabalho levado a cabo no âmbito deste projeto, centrou-se na optimização de uma linha de produção que implicou o redesenho do processo e *layout*, fazendo uso de algumas ferramentas *lean*. De modo a enquadrar o trabalho realizado, nos subcapítulos seguintes é apresentada uma breve reflexão acerca do papel das

⁴ O conceito “*Workshop Kaizen*” será discutido no subcapítulo 2.2.2

⁵ O conceito “*Value Stream Mapping*” será discutido no subcapítulo 2.3.1

várias ferramentas *lean* aquando da sua implementação, uma breve descrição dos principais tipos de *layout* e um confronto entre a melhoria contínua (*kaizen*) e melhorias mais bruscas (*kaikaku*).

2.2.1 O papel das ferramentas *lean*

O enorme sucesso da Toyota nos últimos anos tem levado ao estudo do seu sistema de fabrico, dezenas de livros e artigos têm sido escritos tentando descrever o sistema, técnicas e ferramentas. Vários autores relatam casos de transformações *lean* bem sucedidas, no entanto as empresas verdadeiramente “*lean*” são raras. Isto porque muitas empresas limitam-se a implementar um conjunto de ferramentas, quando o objetivo do *lean* é melhorar o desempenho das empresas como um todo e não a implementação das ferramentas por si só. Para uma empresa se tornar “*lean*” é necessário portanto ter uma visão holística da metodologia e de todo o processo para se proceder à sua implementação. As ferramentas *lean* neste enquadramento geral ganham uma nova perspectiva, tornam-se mais que mecanismos para implementar os princípios do *lean*, por mais importantes que estes sejam, tornam-se veículos que permitem incutir esta visão. Por exemplo existem ferramentas que propõem uma visão holística à forma como os operadores pensam o seu posto de trabalho, para atuar sobre ele e melhorá-lo (ver por exemplo a ferramenta Cinco S) (Ballé, Beauvallet, Smalley, & Sobek, 2006).

No entanto, segundo Pavnaskar, Gershenson & Jambekar (2012) por vezes surgem dificuldades na implementação da metodologia *lean* devido à aplicação de ferramentas *lean* inadequadas aos problemas existentes. De modo a tentar evitar isso, estes apresentam no seu artigo um esquema de classificação das ferramentas de modo a ligar os desperdícios de produção e as ferramentas *lean* indicadas à sua eliminação. Esta classificação pode constituir uma ajuda importante aquando da adoção da metodologia *lean*. Permite uma fácil identificação das ferramentas disponíveis e a sua adequação aos problemas concretos. Mostra portanto que, quando identificados problemas específicos

pode-se recorrer a um conjunto de ferramentas *lean* desde que enquadradas no quadro geral da metodologia *lean*.

2.2.2 Kaizen vs kaikaku

O conceito *kaizen* ou melhoria contínua, em português, é há muito considerado como uma das formas mais eficazes para melhorar o desempenho e qualidade nas organizações. O *kaizen* surge no contexto do TPS sendo um dos pilares em que este assenta por conseguinte também a metodologia *lean*.

Na sua essência encoraja a pró-atividade das pessoas de forma a resolver problemas e desafios. Segundo Pinto (2009) um gestor de uma empresa uma vez afirmou que: “Seguir a melhoria contínua é como caminhar numa estrada rumo à perfeição” (p. 36), ou seja, cada passo dado é um passo mais próximo dessa perfeição, reduzindo custos, aumentando a qualidade dos produtos e serviços e satisfazendo os cliente e demais *stakeholders* (Pinto, 2009). A melhoria contínua é assim composta por pequenos passos, pequenas melhorias, que vão de uma forma iterativa melhorando os processos sem nunca ter fim.

A melhoria contínua implica portanto que todos os colaboradores estejam alinhados com os objetivos e estratégias da organização, é fundamental que todos sejam ouvidos e as suas opiniões tidas em conta, o tratamento deve ser justo e adequado nos desafios que enfrentam (Womack, & Jones, 2003).

De modo a enfatizar a importância de todos os colaboradores e do *kaizen*, Taiichi Ohno defendeu que a essência do TPS é a criação em cada colaborador de uma “consciência *kaizen*”. Teruyuki Minoura refere que o “T” na sigla TPS é a inicial de “*Thinking*” (significa pensar em português), para ele TPS é a criação de um ambiente onde as pessoas têm de pensar, do pensamento resulta sabedoria e da sabedoria a melhoria contínua (Ballé et al., 2006).

Quando as melhorias acontecem de uma forma mais brusca, profunda e irregular, trata-se de *kaikaku* (palavra japonesa para “mudança radical”). Os “*workshops kaizen*” ou “*kaizen events*” são exemplos de *kaikaku* e normalmente incidem sobre aspectos específicos ou projetos de melhoria de curta duração, normalmente de dois a cinco dias. Para este tipo de eventos normalmente reúne-

se uma equipa multidisciplinar, que deve incluir pessoas do Processo, da Engenharia, da Qualidade, da Manutenção e um líder, responsável pela condução dos trabalhos. Inicia-se normalmente pela elaboração do mapeamento da cadeia de valor (*Value Stream mapping*) de modo a obter uma “fotografia” do estado atual do processo em estudo e assim ajudar a definir o estado futuro.

Segundo Rother (2010) a melhoria contínua é bastante diferente, de *workshops kaizen* e, apesar de não se opor à realização destes, defende que não se deve basear a melhoria de uma empresa apenas na realização deste tipo de *workshops*, focando a atenção em apenas um processo de cada vez. Segundo o mesmo autor, um processo está a regredir ou a ser melhorado, assim sendo, deixa bem claro que a melhoria numa empresa deve ser contínua e que se deve procurar melhorar todos os processos todos os dias.

No entanto, quando uma empresa está empenhada em melhorar o seu desempenho, combatendo o *muda* e criando valor para todos os seus *stakeholders*, tem como opção duas abordagens: *kaizen* e *kaikaku*. Ambas são alternativas válidas e devem ser usadas de forma adequada mas a sugestão é que se use como *default* a melhoria contínua (*kaizen*), recorrendo aos eventos *kaikaku* enquadrados numa estratégia de melhoria contínua (Pinto, 2009).

2.2.3 Layouts

Muitos desperdícios do processo produtivo estão associados a um *layout* mal concebido. Encontram-se máquinas e equipamentos muitas vezes dispostos de tal forma que o fluxo de materiais não é visível ao primeiro olhar (Susaki, 2010).

O *layout* de uma operação ou processo significa como seus recursos estão posicionados uns em relação aos outros e como as várias tarefas são alocadas a estes recursos de transformação. A escolha do *layout* é uma decisão importante, no caso deste se mostrar o menos apropriado pode levar a padrões de fluxo longos e complexos, originando maiores *lead times*, *stocks* intermédios assim

como todos os desperdícios e custos associados (Slack, Chambers & Johnston, 2010).

Segundo Slack et al. (2010) existem quatro tipos básicos de *layouts*, são eles:

- **Layout fixo/posicional:** Este tipo de *layout* é caracterizado pelo facto de o material alvo de transformação permanecer parado e os equipamentos e operadores se irem movimentando conforme necessário. Este tipo de *layout* é utilizado por exemplo na indústria naval, devido às elevadas dimensões dos navios que dificultam a sua movimentação.
- **Layout funcional/processo:** Neste tipo de *layout*, recursos ou processos similares são agrupados. Isto quer dizer que quando os materiais passam pelas operações a sua rota é condicionada pelo posicionamento dos vários equipamentos. Isto pode resultar num padrão de fluxo nas operações bastante complexo (Slack et al., 2010). Segundo Susaki (2010) este tipo de *layout* pode originar vários tipos de desperdícios, como a dificuldade na coordenação e planeamento da produção, desperdício de transporte, acumulação de *stock* intermédio, aumento do manuseamento dos materiais, longos *lead times* e dificuldade na implementação de melhorias devido à falta de *standards*.
- **Layout célula:** No *layout* celular os recursos a ser transformados entram na célula onde estão agrupadas as máquinas e equipamentos responsáveis por satisfazer as suas necessidades de processamento imediatas. Depois de processados na célula, os produtos podem sair já completamente transformados, ou podem seguir para outra célula. O *layout* celular é uma tentativa de trazer alguma ordem à complexidade de fluxo que caracteriza o *layout* funcional (Slack, et al, 2010).
- **Layout por produto:** O *layout* por produto implica a localização dos equipamentos e maquinaria inteiramente para a conveniência dos recursos transformados. Cada produto, peça, informação ou cliente segue um percurso predeterminado. A sequência de atividades que são necessárias à sua transformação, corresponde à sequência em que

as máquinas e equipamentos estão localizados. Os recursos transformados fluem como numa "linha" através do processo. O fluxo é previsível e, portanto, relativamente fácil de controlar (Slack et al., 2010). Segundo Susaki (2010) os desperdícios associados ao *layout* funcional podem ser resolvidos com a mudança para um *layout* orientado por produto.

Segundo Slack et al. (2010) existem também os *Mixed layouts*, que resultam da combinação dos *layouts* anteriormente referidos.

2.3 Ferramentas *Lean*

No capítulo anterior foi feito o enquadramento das ferramentas *lean* no contexto geral desta metodologia. Como referido quando é identificado um problema concreto pode-se recorrer a um conjunto de ferramentas de modo a solucioná-lo. No âmbito deste projeto foram detetados alguns desperdícios que foram considerados prioritários estudar e minimizar. Em seguida são apresentadas algumas das ferramentas *lean* a que se recorreu de modo a minimizar os desperdícios identificados. Sendo dada, neste subcapítulo, uma maior ênfase à descrição da ferramenta *Value Stream Mapping* que serviu de suporte à aplicação das restantes ferramentas *lean*. Enquanto, no capítulo seguinte, na descrição do projeto irá ser dada uma maior ênfase à aplicação das restantes ferramentas.

2.3.1 *Value Stream Mapping*

O *Value Stream Mapping* (VSM) é uma ferramenta do *lean manufacturing*, que consiste no mapeamento do fluxo de valor, permitindo a visualização de todo o processo produtivo, representando todos os fluxos de informação e materiais. Esta ferramenta foi pela primeira vez referida por Womack e Jones (1996), sendo contudo Rother e Shook, em 1998 com o seu livro "*Learning to See – Value Stream Mapping to add value and eliminate muda*" que apresentam uma visão detalhada do que é o VSM, como se elabora e implementa. Esta visão era apenas vocacionada para uma família de produtos dentro das mesmas instalações, no entanto, posteriormente Womack e Jones (2002) no livro "*Seeing the Whole*" apresentam uma extensão da ferramenta, mostrando como fazer o mapeamento do fluxo de valor com múltiplas instalações e empresas (Figura 2).

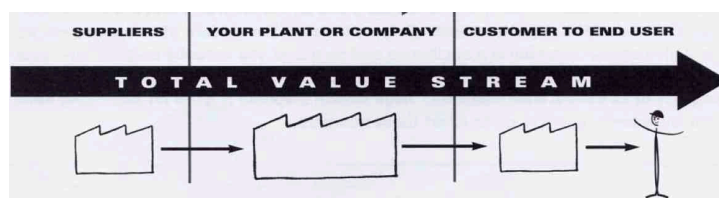


Figura 2 - O *Value Stream Mapping* total

Fonte: Adaptado de Rother e Shook (1999)

Foram entretanto surgindo algumas aplicações informáticas para ajudar à criação e visualização do VSM, como por exemplo o *eVSM* e o *SigmaFlow VSM*, ambos baseados no *software Microsoft Visio*. Foram também surgindo outros desenvolvimentos e tentativas de melhorar e alargar o âmbito desta ferramenta, no entanto é a visão apresentada por Rother e Shook (1999) que aqui se expõe, por se tratar da que melhor se aplica e a este projeto.

A *Value Stream*, ou cadeia/fluxo de valor, em português, é definida como todas as atividades, quer acrescentem ou não valor ao produto, necessárias à sua produção, atravessando os principais fluxos essenciais para cada produto:

1. O fluxo de produção desde a matéria-prima até ao cliente;
2. O design do fluxo desde o projeto até ao lançamento.

A perspectiva do *Value Stream mapping* revela uma visão holística do processo produtivo e não apenas dos processos individualmente, pretendendo melhorar o todo e não apenas otimizar partes. O objetivo é após a obtenção da “fotografia” do estado inicial do processo produtivo e sua análise, a representação do estado futuro, definindo as melhorias e mudanças identificadas.

Esta ferramenta tem como principais características:

- Visualização do fluxo do processo produtivo, “porta-a-porta”;
- Ajuda a identificar os desperdícios e suas fontes;
- Proporciona uma linguagem comum para identificar os processos;
- Integra vários conceitos e técnicas *lean*;
- Identifica e mostra a ligação entre o fluxo de informação e de materiais;
- Suporta a tomada de decisão e proporciona a base para um plano de implementação da metodologia *lean*.

O *Value Stream Mapping* pode ser uma ferramenta de comunicação, de planeamento e uma ferramenta para gerir processos de mudança. É essencialmente uma linguagem, não é portanto um fim em si mesma, mas uma ferramenta que deve ser utilizada instintivamente, de forma a alcançar um

estado melhor. Segundo Rother e Shook (1999) é uma ferramenta de lápis e papel que nos ajuda a visualizar e compreender o fluxo de material e de informação à medida que as matérias-primas vão sendo transformadas em produtos de valor acrescentado. Quando se pensa em fluxo de produção pensa-se essencialmente no fluxo dos materiais mas, na metodologia *lean manufacturing*, por conseguinte na ferramenta VSM, é dada a mesma importância ao fluxo de informação.

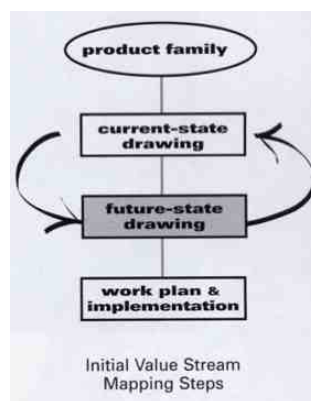


Figura 3 - Etapas do Value Stream Mapping

Fonte: Adaptado de Rother e Shook (1999)

Rother e Shook (1999) sugerem os seguintes passos para a elaboração do *Value Stream Mapping*, ilustrados na Figura 3 e descritos em seguida.

Passo 1 - Seleção da família de produtos

Uma família de produtos, é um grupo de produtos que ao longo do seu processo produtivo passam por processos similares e utilizam equipamentos comuns. Duggan (2002) sugere que para produtos pertencerem à mesma família devem partilhar pelo menos 80% dos passos no processo produtivo. A procura dos produtos deve ser semelhante e devem partilhar tempos de ciclo idênticos.

A não ser que a empresa produza um pequeno número de produtos diferentes, quando se inicia a aplicação do VSM, é necessário escolher uma família de produtos sobre a qual se deve começar, uma vez que fazer o VSM de todos os produtos ao mesmo tempo pode revelar-se bastante complexo. Por isso mesmo o primeiro passo do VSM é a escolha de uma família de produtos. Depois de identificadas, a escolha da família de produtos pode ser feita segundo vários

critérios. Devendo ser dada prioridade às famílias de produtos que representem maior fatia na faturação, maior volume de procura, ou por motivos estratégicos da empresa se entenda priorizar determinada família.

Passo 2 – Desenho do estado atual

O segundo passo é desenhar o mapa do estado atual do processo produtivo. A ideia é obter uma “fotografia” do estado atual, sendo portanto importante ter a noção que se trata de uma descrição estática do processo. O momento em que este mapa é desenhado deve ser escolhido de modo a que possa representar com a maior fidelidade possível a realidade.

O VSM como já foi referido é uma ferramenta de lápis e papel permitindo assim uma elaboração simples e prática à medida que se vai percorrendo a linha de produção, sendo constituído por um conjunto de símbolos apresentados no Anexo A. Segundo Rother e Shook (1999) deve começar-se com uma visita rápida, “porta-a-porta” ao fluxo de valor de modo a ficar com um melhor entendimento do sentido e sequência do fluxo e dos processos. Depois desta visita torna-se a percorrer o fluxo mas desta vez fazendo uma análise mais profunda, desenhando uma representação visual do fluxo de material e informação, processo a processo. Deve começar-se no cliente e seguir o fluxo até aos fornecedores, retirando e registando os dados com base na visualização pessoal e não com base em valores *standard*.

No exemplo da Figura 4 dado por Rother e Shook (1999) de um VSM do estado inicial de uma linha de produção, pode claramente identificar-se o cliente, o fornecedor e os processos. O fluxo de material é representado na parte inferior, da esquerda para a direita e o fluxo de informação é visível na parte superior, da direita para a esquerda. Debaxo dos ícones que representam o cliente, fornecedor e processos, são desenhadas caixas de informação com os dados recolhidos durante a visita. De acordo com os objetivos de cada organização e tendo em conta as necessidades dos seus clientes os dados recolhidos podem variar. Segundo Rother e Shook (1999) os dados geralmente recolhidos são:

- Tempo de Ciclo (C/T – Cycle Time);
- Tempo de mudança de ferramenta (C/O – Changeover Time);
- EPE (Every Part Every...);

- Nº de operadores;
- Nº de variações de produto;
- Tamanho do lote;
- Tempo disponível de trabalho (retirando as paragens)
- Rácio de sucata.

À medida que se percorre o fluxo de material vai-se encontrando *stock*, em várias quantidades, acumulado em vários sítios, o qual é também muito importante ser representado no VSM.

Na parte inferior do VSM deve ser desenhada uma linha temporal com os tempos de cada processo e os tempos de espera, de modo a obter o *lead time*.

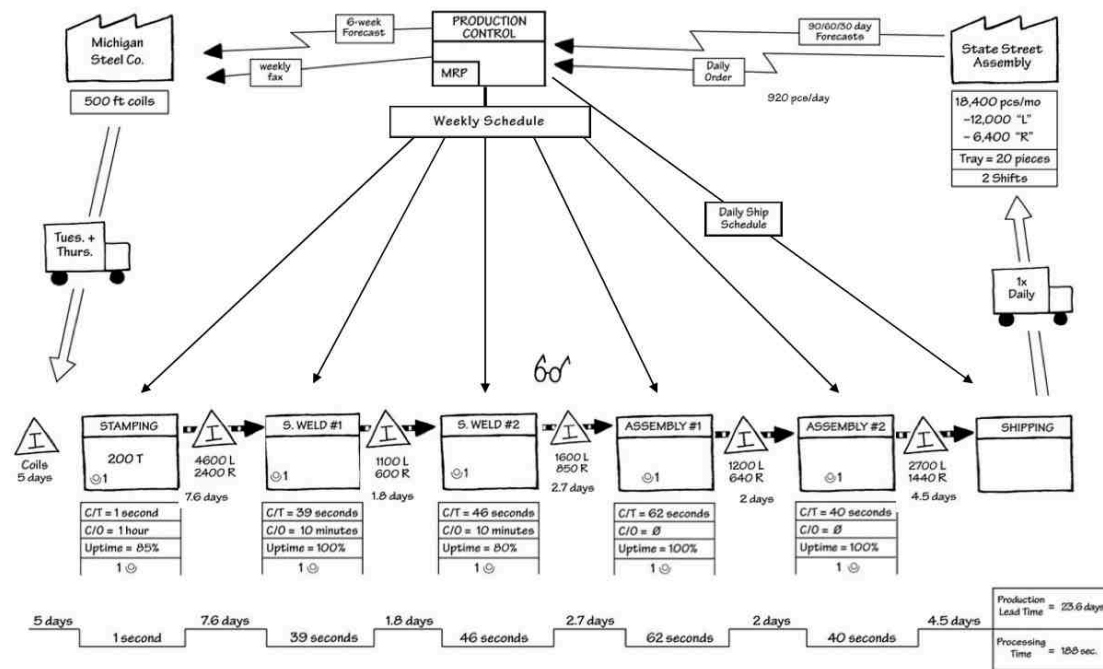


Figura 4 - Exemplo do Value Steam Mapping do estado inicial

Fonte: Adaptado de Rother e Shook (1999)

Passo 3 – Desenho do estado futuro

O terceiro passo é o desenho do VSM do estado futuro, o objectivo é construir uma cadeia de produção em que cada processo fica ligado a seu processo cliente criando um fluxo contínuo, ficando cada processo o mais próximo possível de produzir apenas o que o cliente precisa, quando precisa (Rother, & Shook, 1999).

De modo a alcançar esse estado futuro torna-se portanto necessário analisar o estado atual, para tal Rother e Shook (1999) sugerem os seguintes passos:

- 1) Produzir ao ritmo do *takt time*. O *takt time* é a cadência com que um produto ou serviço deve ser produzido de forma a satisfazer a procura do cliente que normalmente é expresso em “tempo por peça”. E pode ser obtido através do cálculo da seguinte fórmula:

$$Takt\ time = \frac{Tempo\ disponível}{Procura\ do\ cliente}$$

Em que considera-se tempo disponível todo o tempo que está alocado à produção, sendo portanto subtraído os tempos de pausa (ex.: tempo de almoço, tempo de limpeza). A Procura é a quantidade de peças que devem ser entregues no mesmo intervalo de tempo. Este cálculo pode ser efetuado para qualquer período de tempo, desde que o tempo disponível e a procura digam respeito ao mesmo intervalo de tempo. Ao produzir-se ao ritmo do *takt time* sincroniza-se a produção com procura, evitando-se assim excessos de produção.

- 2) Desenvolver um fluxo contínuo sempre que possível. Deve-se tentar desenvolver um fluxo contínuo, produzindo peça a peça, mantendo o material em constante movimentação e adição de valor, tendendo a anular desperdícios, reduzindo *stock* intermédio e reduzindo-se assim o *lead time*.
- 3) Usar supermercados para controlar a produção onde não é possível implementar um fluxo contínuo. Os “supermercados *pull*” são estruturas que permitem armazenar de forma prática diferentes componentes e produtos. Por vezes não é possível alcançar um fluxo contínuo, sendo por isso necessário trabalhar com lotes. Os supermercados são onde o processo cliente irá retirar apenas o que precisa e quando precisa. O processo fornecedor apenas produzirá

para o reabastecimento do supermercado. O processo cliente envia um sinal *kanban*⁶ a requerer material, sendo enviado um *kanban* para o processo fornecedor com instruções para produzir de modo a repor o produto ou componente retirado (Figura 5).

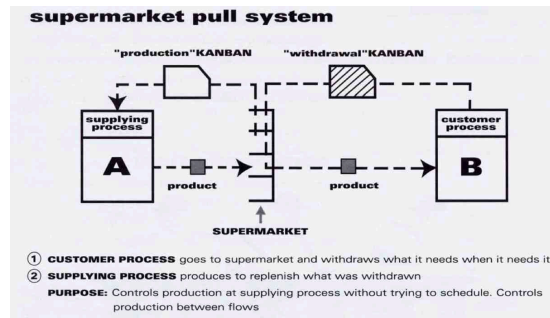


Figura 5 - Sistema supermercado pull

Fonte: Adaptado de Rother e Shook (1999)

4) Definir o processo *pacemaker*. Ao usar supermercados pull normalmente apenas se precisa de planear a produção num processo. Esse é o denominado processo *pacemaker*, uma vez que é o planeamento neste processo que marca o ritmo de produção dos processos a montante na linha. A jusante deste processo não podem existir supermercados, tem de haver um fluxo contínuo (Figura 6).

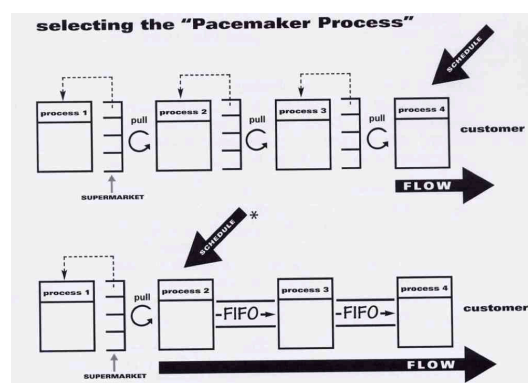


Figura 6 - Seleção do "processo pacemaker"

Fonte: Adaptado de Rother e Shook (1999)

⁶ *Kanban*, palavra japonesa que significa "placa visível". Criado no final dos anos quarenta, por Taiichi Ohno, foi desenvolvido para controlar a produção entre processos. Permite agilizar a entrega e produção de peças.

- 5) Nivelar o *mix* de produção. O *mix* produtivo deve ser nivelado distribuindo a produção de diferentes tipos de produtos em pequenas quantidades ao longo de um período de tempo. Em vez de por exemplo produzir todos os produtos “A” de manhã e os “B” de tarde, nivelar significa produzir alternadamente lotes mais pequenos de “A” e de “B”. Quanto mais nivelada for a produção no processo *pacemaker* melhor será a capacidade de resposta à procura dos clientes, com um menor *lead time* e *stock* de produto acabado. No entanto, o nivelamento da produção pode implicar um aumento na frequência da mudança de ferramentas, o que pode ser uma fonte de ineficiências, devendo ser desenvolvido um sistema de troca rápida de ferramentas.
- 6) Nivelar o volume de produção. Este passo consiste em estabelecer um ritmo de produção ao aumentar e/ou diminuir a quantidade de trabalho, o *pitch*, que se calcula com o tamanho de lote e o *takt time* através da seguinte fórmula:

$$Pitch = Takt\ time \times tamanho\ de\ lote$$

O *mix* de produção e o volume de produção devem ser controlados no processo *pacemaker*. Controla-se o ritmo e o volume de produção ao controlar o incremento de trabalho no processo *pacemaker* e libertando produto acabado. A isto Rother e Shook (1999) chamam de “*paced withdrawal*” (remoção ritmada). Ou seja, a cada *pitch*:

1. Dá-se instrução ao processo *pacemaker* para produzir a quantidade de um lote.
2. Remove-se a quantidade de um *pitch* de produto acabado.

Assim sendo, o *pitch* torna-se a unidade básica do planeamento de produção para uma família de produtos.

- 7) Desenvolver a capacidade de fazer cada produto a cada dia (depois a cada turno, cada hora ou cada palete ou a cada *picth*). Ao reduzir o tempo de mudança de ferramentas e libertar menores quantidades de trabalho nos processos produtivos, eleva-se a capacidade de resposta às mudanças no comportamento dos consumidores. *Every part every...* (EPE) consiste na frequência que um processo muda para produzir todas as variações de componentes. Ao ter-se um EPE de base diária (ou menos se possível) reduz-se o inventário e aumenta-se a sua rotatividade.

Passo 4 - Atingir o estado futuro

O propósito do VSM é permitir a identificação das fontes de desperdício e eliminá-las ao implementar o estado futuro da cadeia de valor. O VSM é portanto uma ferramenta poderosa quando se pretende otimizar uma linha de produção já existente. No entanto, alguns dos desperdícios da cadeia de valor podem resultar do *design* do produto, do equipamento já adquirido e da localização ineficiente de alguns processos. Neste caso, pode por vezes revelar-se difícil conseguir eliminar certos desperdícios identificados. No caso de se tratar de um produto novo, aplicando o VSM pode-se logo na fase de projeto identificar e eliminar as potenciais fontes de desperdício (Rother, & Shook, 1999).

Segundo Liker e Meier (2006) o propósito de fazer o VSM é a ação, ou seja, de nada serve ter o fluxo produtivo todo mapeado, desenhar estados futuros se nunca se chegar à ação. “Like a road map, the value stream mapping tool shows the road for de journey, but is only a guide.” (Liker, & Meier, 2006, p. 42)

Nesta fase deve-se portanto definir um plano de ações com objetivos mensuráveis e nomear responsáveis por cada ação, de modo a atingir o estado futuro definido no passo anterior.

2.3.2 Cinco S's

Os Cinco S's são uma ferramenta *lean*, que visa a redução de desperdício e melhoria das condições de trabalho. Ao descrever esta ferramenta, Feld (2001) afirmou: "Everything has a place and everything in its place! If it does not warrant a label, it does not warrant a place in the area! These are words to live by in a lean manufacturing environment" (p. 85). Deste modo enfatiza a importância da organização das ferramentas e dos postos de trabalho através da aplicação dos Cinco S's para a criação de um ambiente *lean*.

O nome desta ferramenta advém do facto das cinco palavras em Japonês começarem pelo som "s", que são as seguintes:

- **Seiri (Separar/Organizar):** Eliminação do inútil, identificar o que não é necessário e remover do posto de trabalho, mantendo apenas os itens necessários para realizar o trabalho.
- **Seiton (Arrumar/Identificar):** Ordenar, identificar e definir o local de cada documento, material ou ferramenta, de modo a que sejam encontrados rapidamente e facilitado o seu uso, eliminando movimentos desnecessários.
- **Seiso (Limpar):** Manter o posto de trabalho sempre limpo.
- **Seiketsu (Padronizar):** Desenvolver sistemas e procedimentos para que os 3 S's anteriores sejam mantidos e monitorizados.
- **Shitsuke (Disciplina/Manter):** Visa a manutenção e revisão dos padrões criados, não permitindo o regresso às práticas antigas. Para tal é necessário disciplina e motivação por parte dos colaboradores.

Segundo Bell e Orzen (2011) as empresas geralmente começam a adoção da metodologia *lean* com a implementação desta ferramenta. Não apenas para estabelecer ordem mas também para criar uma maior consciência, por parte de todos os colaboradores do processo, permitindo identificar as fontes de desperdício e oportunidades de melhoria.

2.3.3 Trabalho Padronizado

O trabalho padronizado é uma ferramenta *lean* utilizada para desenvolver métodos de trabalho. Este reduz a variação e o caos num processo conduzindo a melhores resultados.

Segundo, Liker e Meier (2007) o trabalho padronizado surge na Toyota através da adoção do *Training Industry Program* (TWI)⁷, no entanto, Taiichi Ohno e os seus seguidores foram mais além tentando implementar um fluxo contínuo procurando reduzir os desperdícios das operações. Isto levou à produção ao ritmo da procura, ou seja, do *takt time*, ao balanceamento das linhas de produção e necessariamente a um fluxo contínuo.

Nem todo o trabalho é repetível e previsível mas todo o trabalho envolve *muda* e um dos principais propósitos do trabalho padronizado é analisar os desperdícios resultantes da produção e sistematicamente eliminá-los. Bem como a obtenção de resultados consistentes e controlo sobre a variação destes. É pressuposto o trabalho padronizado evoluir e ser melhorado constantemente.

Segundo Rother (2010) a Toyota tenta atingir um nível de qualidade de excelência não ao executar os processos sempre da mesma forma mas esforçando-se por atingir o objetivo dos processos serem executados sempre da mesma forma. A diferença é subtil mas importante para perceber que o trabalho padronizado não é um fim em si mesmo nem a garantia de bons métodos de trabalho, mas que deve sim ser encarado e utilizado como uma ferramenta de melhoria contínua, na procura constante de melhores métodos de trabalho.

O trabalho padronizado pode ser então definido como o melhor método atualmente conhecido para realizar um determinado trabalho. Isto pressupõe que é o método mais seguro e eficiente para fazer o trabalho e que satisfaz o nível de qualidade exigido (Martin, & Bell, 2011).

No entanto, se for encontrada uma maneira mais apropriada para realizar um trabalho, essa deve passar a ser a nova referência, o novo padrão. Se não houver um padrão e o trabalho for sempre realizado de maneira diferente, perante este caos, torna-se praticamente impossível identificar oportunidades de melhoria. É precisamente o trabalho padronizado que proporciona flexibilidade e permite

⁷ *Training Industry Program* (TWI), programa criado pelo Departamento de Guerra dos EUA durante a Segunda Guerra Mundial, com o objetivo de aumentar a capacidade de produção.

que se pense no trabalho realizado de forma a detetar as oportunidades de melhoria. Uma frase muito famosa de Taiichi Ohno reforça precisamente esta ideia: “Where there is no standard, there can be no kaizen”.

Segundo Martin e Bell (2011) existem quatro pré-requisitos para se atingir e manter o trabalho padronizado. São eles:

1. O homem deve ser capaz de realizar o trabalho. Ou seja, deve ser um trabalho que uma pessoa o consiga fazer em segurança e ergonomicamente, no tempo e com o nível de qualidade requeridos.
2. Deve haver uma sequência repetitiva de trabalho. O trabalho que é necessário realizar deve ser passível de ser executado pelo colaborador da mesma forma todas as vezes que o for requerido.
3. O equipamento, ferramentas e espaço de trabalho devem ser fiáveis. Se isto não se verificar podem surgir problemas como paragens e variações no tempo de ciclo, o que pode ter um grande impacto negativo no trabalho.
4. Os materiais utilizados devem ser de alta qualidade. Se as matérias-primas e componentes usados não forem de boa qualidade podem surgir frequentemente defeitos e outros problemas de qualidade que serão uma fonte constante de variações.

Estes pré-requisitos são necessários a fim de se minimizar a variabilidade. Segundo Martin e Bell (2011), Taiichi Ohno definiu os seguintes componentes básicos do trabalho padronizado:

1. *Takt time*;
2. Sequência de trabalho;
3. *Standard WIP*.

O *takt time*, como já referido anteriormente, é a cadência com que um produto ou serviço deve ser produzido de forma a satisfazer a procura do cliente.

A sequência de trabalho é a sequência de atividades que deve ser seguida de cada vez que o trabalho é realizado. Determinar esta sequência e obter a disciplina para a seguir é muito importante pois reduz a variabilidade e a ocorrência de erros.

Standard WIP é o *stock* ou quantidade de material que deve estar presente na linha de produção permitindo que a sequência de trabalho definida possa

decorrer como previsto, sem que a diferença de tempo de ciclo de cada etapa do processo influencie o *takt time* e permita gerir processos gargalo⁸.

A sequência de trabalho é simultaneamente um pré-requisito e um componente básico do trabalho padronizado uma vez que se trata da premissa em que este assenta (Martin, & Bell, 2011).

2.3.4 Poka-yoke

Poka-yoke é uma palavra japonesa que significa “mecanismo anti-erro”. É uma ferramenta *lean* introduzida por Shiengo Shingo em 1961, na Toyota, com o objetivo de prevenir e evitar a ocorrência de defeitos. Com isto diminui-se a variabilidade do processo intrínseco à ação do operador, libertando-se este para tarefas que agregam valor. Caso o operador cometa um erro, um *poka-yoke* vai evitar o defeito ou parar a máquina, sendo um fator chave no caminho para atingir 100% de qualidade. Evitam-se os defeitos na origem não permitindo a entrega de um produto defeituoso ao processo seguinte. Assim, reduz-se tempo a procurar defeitos e de resolvê-los, bem como os custos associados (Susaki, 2010).

Segundo Liker e Meier (2006) *poka-yoke* não é tanto uma ferramenta *lean* mas uma maneira de pensar e de avaliar os problemas. Baseia-se no princípio de que as pessoas não cometem erros intencionalmente ou fazem o trabalho incorretamente, mas sim que por várias razões os erros podem acontecer. Por exemplo, ao contrário de outras empresas que identificam a causa de alguns problemas como “falha humana”, na Toyota assume-se que um erro é uma falha do sistema e dos métodos utilizados para realizar o trabalho. Os erros acontecem simplesmente porque o método atual o permite. Um fator chave para o sucesso é a mentalidade, pois técnicas e ferramentas anti-erro são normalmente simples e fáceis de aplicar, o desafio está em descobrir a causa e usar a imaginação para a eliminar (Liker, & Meier, 2006).

⁸ Processo gargalo, designação para os processos que limitam o desempenho ou a capacidade de todo um sistema.

2.4 Medição do Desempenho

Segundo Wudhikarn (2011) as empresas não podem evoluir se não estiverem conscientes do seu desempenho atual. Neste contexto o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) revela-se uma ferramenta importante que permite aferir o desempenho e eficiência dos equipamentos, servindo de suporte à metodologia *lean* permitindo a identificação de desperdícios e de oportunidades de melhoria.

O OEE é um fator chave na medição do desempenho dos equipamentos que foi introduzido por Nakajima no contexto do *Total Productivity Maintenance* (TPM)⁹ (Ron, & Rooda, 2006). De forma a assegurar-se que os equipamentos estão disponíveis e aptos a produzir produtos de qualidade durante o maior período de tempo possível e que são usados corretamente, o OEE considera todos estes fatores. Este indicador não considera apenas as avarias dos equipamentos como a única fonte de perdas, mas também que produzir abaixo da capacidade dos equipamentos e produzir produtos defeituosos tem também um impacto negativo (Borris, 2006).

Segundo Stamatis (2010) o OEE é na sua essência uma ferramenta que permite:

1. Medir e identificar o potencial dos equipamentos.
2. Identificar e localizar perdas.
3. Identificar oportunidades de melhoria.

E tem por principais objetivos:

1. Aumentar a produtividade.
2. Diminuir custos.
3. Aumentar a consciência da importância da produtividade dos equipamentos.
4. Aumentar a vida útil dos equipamentos.

⁹ *Total Productive Maintenance* (TPM), método para melhorar a disponibilidade dos equipamentos através de uma melhor realização da manutenção e utilização dos recursos de produção. Permite eliminar perdas, reduzir paragens, e garantir a qualidade. É um auxiliar importante do *lean manufacturing*

Os resultados destes objetivos são:

1. Aumento dos lucros.
2. Alcançar (ou manter) uma vantagem competitiva.
3. Redução de custos.

Stamins (1910) refere ainda que as seis grandes perdas dos equipamentos são normalmente as seguintes:

1. Avarias/falhas dos equipamentos
2. Montagem e ajustes
3. Tempo ocioso
4. Redução de velocidade
5. Defeitos e retrabalho
6. Perdas de arranque de produção

O OEE é obtido através do produto dos fatores de disponibilidade, eficiência e qualidade. Estes fatores, por sua vez são calculados através das seguintes fórmulas:

$$OEE = Disponibilidade \times Eficiência \times Qualidade$$

$$Disponibilidade = \frac{\text{Tempo Planeado de Produção} - \text{Paragens Não Planeadas}}{\text{Tempo Planeado de Produção}}$$

$$Eficiência = \frac{\text{Tempo de Ciclo} \times \text{Quantidade Total Produzida}}{\text{Tempo Bruto de Produção}}$$

$$Qualidade = \frac{\text{Quantidade Total Produzida} - \text{Quantidade Produzida Com Defeito}}{\text{Quantidade Total Produzida}}$$

O cálculo do OEE inicia-se com a recolha de dados, que deve ser de boa qualidade, esta recolha pode ser efetuada de diferentes formas dependendo do propósito e da situação concreta (Stamins, 2010).

Um OEE *world-class* é considerado a partir de 85%. A medição do OEE é também muitas vezes usada como um indicador-chave de desempenho (*key performance indicator* (KPI)), em conjunto com os esforços do *lean manufacturing* para fornecer um indicador de sucesso (Stamins, 2010).

3. APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS *LEAN* NA EMPRESA EPEDAL S.A

3.1 Epedal, Indústria de Componentes Metálicos, S.A

O trabalho desenvolvido neste projeto foi levado a cabo na empresa Epedal S.A no âmbito do estágio curricular do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Aveiro. O estágio decorreu de Setembro de 2011 a Abril de 2012.

A história da Epedal S.A (Figura 7) começa em 1981 com intuito de suprir necessidades de mercado do ciclismo. Posteriormente, em 1987, a empresa reconverteu todo o seu processo produtivo para a indústria automóvel, onde ocupa, desde então, um lugar de distinção.

A missão da empresa assenta nos seguintes pressupostos:

“produzir componentes metálicos para automóveis, motociclos, comboios e aeroespacial, satisfazendo integralmente as exigências dos nossos clientes acionistas e colaboradores privilegiando os factores críticos do sector: prazos de entrega, qualidade e preços. Construámos a nossa reputação e o nosso sucesso assente nesta filosofia, constituindo esta a base de constantes melhoramentos.”
(Epedal, S.A, 2005)



Figura 7 - Epedal S.A

A Epedal S.A encontra-se localizada em Sangalhos, Anadia, e emprega aproximadamente 220 colaboradores, dos quais cerca de 30 possuem formação especializada. A empresa dispõe de uma área coberta de 12.500 m², num total de 105.000 m².

A Epedal S.A é membro fundador do Centro para a Excelência e Inovação na Indústria Automóvel (CEIIA), uma entidade privada composta pelos principais Fornecedores, Associações Universidades Técnicas, Centro de I&D e Organismos Públicos do país. Este centro visa promover o crescimento das empresas Portuguesas nas cadeias internacionais de fornecimento das indústrias da mobilidade.

Na Figura 8 está representado o organigrama de como a Epedal S.A está organizada internamente.

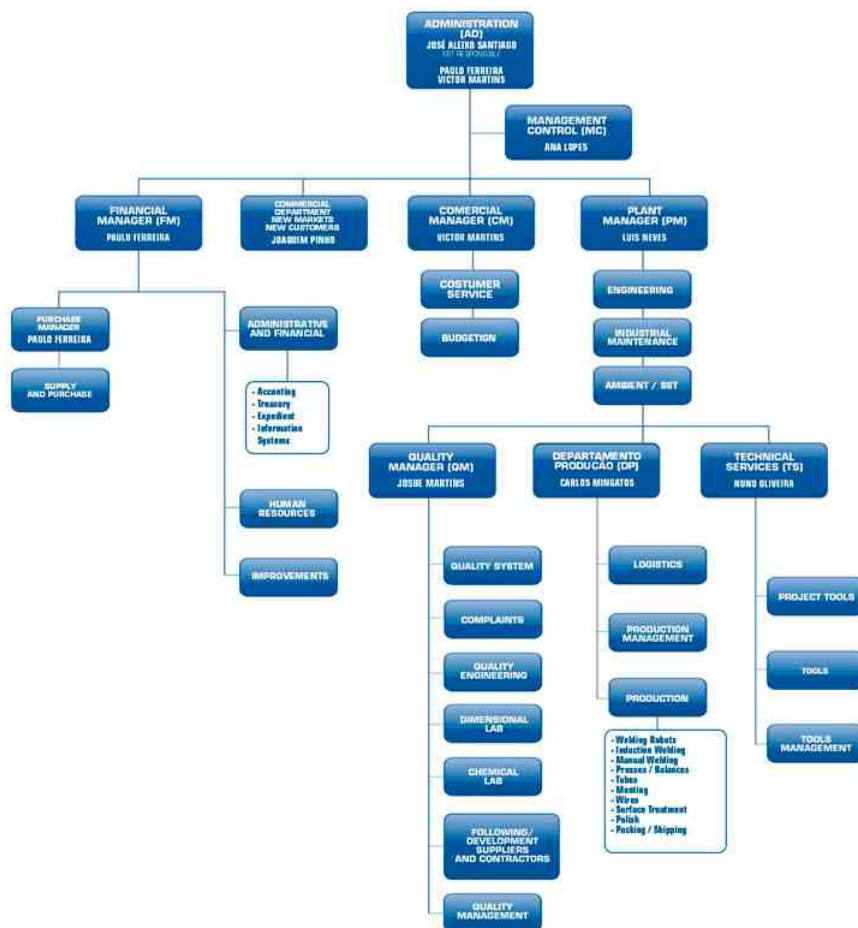


Figura 8 - Organigrama geral da Epedal S.A

Fonte: www.epedal.pt

3.1.1 Produtos e Clientes

Os processos produtivos utilizados na Epedal S.A compreendem as tecnologias de Conformação, Estampagem, Soldadura e Tratamento de Superfícies, de diferentes matérias-primas, como tubo, arame e chapa de aço. A empresa possui também muita experiência na concepção de ferramentas, tendo para o efeito uma equipa de estudos e projeto, e um centro de maquinação.

Entre a vasta gama de produtos destacam-se por exemplo os ilustrados na Figura 9. O produto à esquerda (a) trata-se de um suporte de cortina de airbag e da pega, composto por dois componentes estampados e unidos por pontos de Soldadura por Resistência. O produto à direita (b) trata-se de um gancho de reboque, composto por arame conformado que é soldado a tipo MIG ao componente estampado.



(a)



(b)

Figura 9 - (a) Suporte da cortina de airbag e da pega e (b) Gancho de reboque

A Epedal S.A produz cerca de 10 milhões de componentes por ano, sendo que mais de 80% da produção é exportada para Espanha, República Checa, Eslováquia e França. Em 2010 atingiu um volume de negócios de aproximadamente 14.500.000€, como demonstrado na Figura 10.

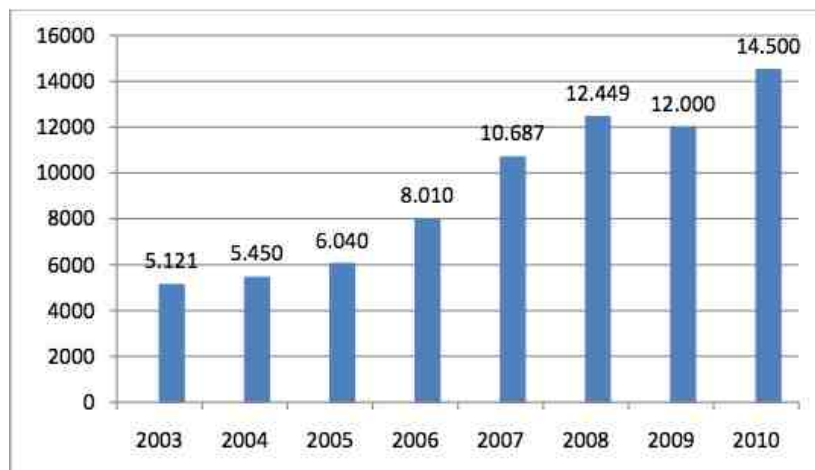


Figura 10 - Gráfico das vendas da Epedal S.A de 2003 a 2010

Fonte: Epedal S.A, 2010

A certificação do sistema de garantia da qualidade e ambiente pelo BVQI (ISO 14001 e ISO TS16949) e pela Volkswagen (VDA) são demonstradoras da capacidade da Epedal S.A para operar num mercado deste nível de exigência.

A qualidade do seu trabalho é atestada pela fiabilidade e fidelidade elevadas conseguidas, relativamente às especificações de dezenas de produtos diferentes. Esta qualidade traduz-se também na crescente carteira de clientes, onde imperam nomes como a Autoeuropa/Volkswagen, Faurecia, Peugeot MTC, MGI Coutier, MBK/Yamaha, Matriceria y Estampacion F. Segura, Mitsubishi, Kirchhoff, Gestamp, Daycoensa e Fujikoyo, entre outros.

3.1.2 Processo Produtivo

A Epedal S.A está organizada por processos devido ao facto de produzir um elevado número de referências diferentes, que envolvem operações de fabrico bastante diversas. No esquema da Figura 11 é apresentada a sequência base da maioria das operações de fabrico da empresa.

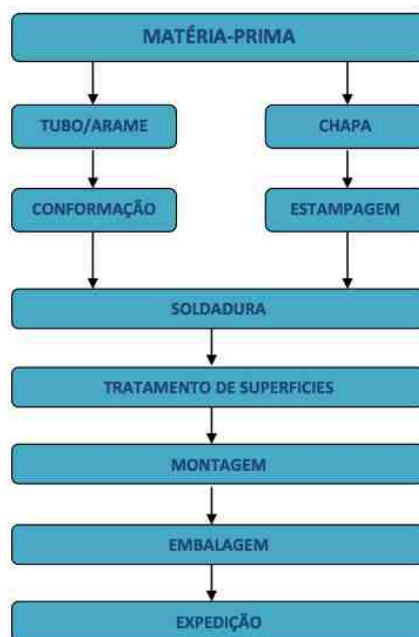


Figura 11 - Esquema geral do processo produtivo da Epedal S.A

Fonte: Epedal S.A, 2009

Depois de recepcionadas as matérias-primas, no caso de se tratarem de tubo ou arame, abastecem a secção de Conformação, no caso da chapa abastecem a secção de Estampagem. Posteriormente nas secções de Soldadura e Montagem são realizadas operações de Aglomeração de conjuntos de produtos semiacabados e/ou aplicação de componentes como parafusos, porcas e rebites. Nos produtos em que é necessário o Tratamento de Superfícies esta operação normalmente é realizada antes da Montagem final. Por fim é realizada a Embalagem e Expedição do produto acabado.

A secção de Conformação de tubo e arame está equipada com máquinas CNC. A secção de Estampagem dispõe de Prensas Hidráulicas e Mecânicas de 200T a 800T e um sector com Balancés de 45T a 150T.

A secção de Soldadura está seccionada em Soldadura Robotizada de tipo MIG/MAG, por Resistência por Pontos e por Projeção, em Soldadura Manual TIG/MIG/MAG, em Soldadura por Resistência por Pontos e por Projeção utilizando Prensas de Soldar, e em Soldadura por Indução.

3.2 Apresentação do problema

Já foi referido que a Epedal S.A organiza a sua produção por processos devido ao facto de produzir um elevado número de referências que envolvem operações, tempos de ciclo e procura muito diferenciadas. O trabalho levado a cabo no âmbito deste projeto pretendeu contribuir para a optimização da linha de produção de um dos componentes para automóveis produzidos pela empresa - o Suporte do Filtro de Ar (Figura 12). Este componente equipa as carrinhas Renault Traffic, Opel Vivaro e Nissan Primastar, cujo desenvolvimento e produção resulta de uma *joint venture*¹⁰ entre as três marcas.

O Suporte do Filtro de Ar, é um componente que era já produzido pela Epedal S.A há cerca de 5 anos. Apresentava uma procura, por parte do cliente relativamente regular, tratando-se de um dos componentes com maior peso individual na faturação da empresa. Nestas circunstâncias a produção do Suporte do Filtro de Ar mereceu uma especial atenção por parte dos responsáveis da empresa, ao constatarem uma elevada ineficiência na sua produção e lhe reconheceram um elevado potencial de melhoria.



Figura 12 - Suporte do Filtro de Ar

¹⁰ *Joint venture*, designação de uma associação de empresas, que pode ser definitiva ou não, com fins lucrativos, para explorar determinado negócio, sem que nenhuma delas perca a sua personalidade jurídica.

3.2.1 Descrição do problema

Entre os diversos problemas de eficiência identificados na produção do Suporte do Filtro de Ar, incluíam-se longos *lead times*, elevados níveis *stocks* intermédios, um fluxo produtivo relativamente complexo e uma baixa produtividade. Além dos objetivos diretamente ligados à redução ou eliminação destes problemas, a empresa pretendia também que o projeto de melhoria desta linha de produção, pudesse funcionar como modelo para a adoção da filosofia *lean* que a empresa preconizava.

O Suporte do Filtro de Ar (Figura 12), é um conjunto soldado composto por 14 componentes: 3 tubos diferentes (referidos como T1, T2 e T3), 5 patilhas (referidas como P1, P2, P3, P4 e P5) e 6 pernos iguais. Os pernos são adquiridos pela empresa e depois apenas soldados ao conjunto final. As patilhas são obtidas através de processos de Estampagem da matéria-prima, chapa em rolo, em Prensas ou Balancés, passando apenas por uma operação antes da Soldadura no conjunto final. Os 3 tubos antes de integrarem o conjunto final na operação de Soldadura, passam por vários processos de Corte e Conformação.

Uma vez que, como referido os pernos são adquiridos pela empresa e as patilhas apenas passam por uma operação, em equipamentos não dedicados, antes de integrarem o conjunto final, não foram identificados grandes desperdícios e oportunidades de melhoria, associados a estes componentes que fossem considerados prioritários estudar.

A fonte dos principais problemas e desperdícios identificados encontrava-se assim associada à obtenção dos tubos T1 e T2 e posterior Soldadura e Embalagem do conjunto final. Assim sendo, este estudo debruça-se sobre produção destes dois componentes e posterior Soldadura e Embalagem.

Foram assim definidos como principais objetivos para este projeto: a redução do *stock* intermédio, do *lead time*, e da distância percorrida, assim como o aumento da produtividade em geral.

A abordagem ao problema envolveu desde logo, a realização de um *workshop kaizen*, com a duração de uma semana. Este *workshop* reuniu uma equipa

multidisciplinar constituída, para além do autor deste trabalho, pelos Operadores, Chefes de Secção, pessoal da Engenharia, Manutenção e Melhoria Continua. A partir do diagnóstico permitido pelo *workshop*, foram então aplicadas várias ferramentas *lean* para conseguir a melhoria da linha de produção. Em particular, foi utilizado o *Value Stream Mapping* como ferramenta central para a análise à situação inicial, assim como para o suporte à definição do estado futuro.

De modo a descrever a análise e as principais melhorias e mudanças efetuadas, os capítulos seguintes estão organizados de acordo com os passos necessários à elaboração do VSM. O objectivo não é mostrar aprofundadamente a elaboração do VSM mas sim como este serve de base para a optimização de uma linha de produção através da análise do fluxo de valor, do *layout* e da implementação de outras ferramentas *lean*, num caso concreto.

3.3 Aplicação de ferramentas *Lean*

O VSM, como referido no subcapítulo 2.3.1, é uma ferramenta do *lean manufacturing* que permite o mapeamento e visualização do fluxo de valor assim como a identificação de fontes de desperdício na produção. Desta forma o VSM é uma ferramenta importante para apoiar a eliminação de desperdícios, permitindo desenhar um estado futuro servindo de suporte à aplicação de outras ferramentas *lean*.

O VSM envolve um conjunto de passos, já descritos no subcapítulo 2.3.1 que se ilustram seguidamente para o caso concreto do Suporte do Filtro de Ar.

3.3.1 Passo 1 – Seleção da família de produtos

No âmbito deste projeto, a seleção da família de produtos a abarcar, foi uma decisão tomada ao nível da gestão da empresa, que, e tal como já enunciado, identificou vários desperdícios, ineficiências e um elevado potencial de melhoria na fabricação do conjunto Suporte do Filtro de Ar.

3.3.2 Passo 2 – Desenhar o estado atual

O objetivo do desenho do estado atual, é obter uma “fotografia” do estado do processo antes das intervenções de melhoria de modo a compreender os fluxos de material e de informação, ajudando a reconhecer os desperdícios, para posteriormente serem eliminados.

Para tal, o *workshop kaizen* realizado envolveu visitas “porta-a-porta” de todos os sub-processos associados à produção do Suporte do Filtro de Ar, de modo a facilitar a recolha de dados acerca dos mesmos e a identificar os desperdícios associados.

A Figura 13, mostra o *layout* das operações dos dois componentes em estudo (T1 e T2) desde a chegada da matéria-prima até à secção de Soldadura e depois do conjunto final até à expedição.

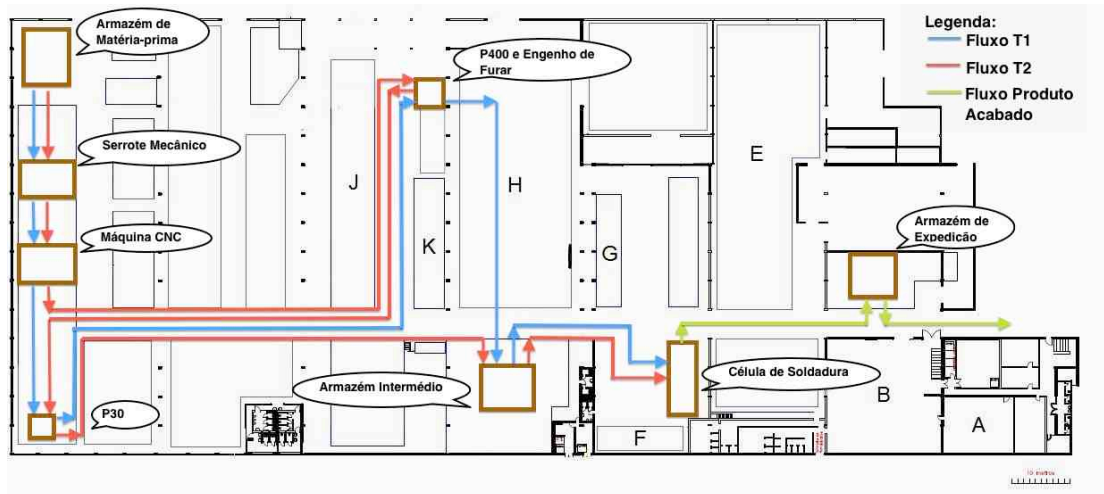


Figura 13 - *Layout* inicial do Suporte do Filtro de Ar

Como se pode observar na Figura 13 a matéria-prima do tubo T1 depois de dar entrada em armazém, sofre uma operação de Corte num Serrote Mecânico (Figura 14 (a)), em seguida uma operação de Conformação numa Máquina CNC (Figura 14 (b)).



(a)



(b)

Figura 14 - (a) Serrote Mecânico e (b) Máquina CNC

Posteriormente sofre uma operação de Conformação numa Prensa Hidráulica de 30T (Figura 15 (a)), doravante designada P30, seguindo depois para uma operação de Corte e Conformação numa Prensa de 400T, doravante designada P400, e uma operação de Furação, num Engenho de Furar localizada ao lado da P400 (Figura 15 (b)).



(a)



(b)

Figura 15 - (a) Prensa Hidráulica 30 T e (b) Prensa 400 T e Engenho de Furar

Em seguida o T1 é armazenado num armazém intermédio de componentes seguindo depois para a secção de Soldadura (Figura 16).



Figura 16 - Célula de Soldadura

A produção do tubo T2 implica um conjunto de operações suportadas pelos mesmos equipamentos usados para a produção do T1. O tubo T2 também começa por uma operação de Corte num Serrote Mecânico (Figura 14 (a)) e em seguida é Conformado numa Máquina CNC (Figura 14 (b)). Ao contrário do tubo T1, este depois segue diretamente para a P400 (Figura 15 (b)) para ser alvo das operações de Conformação e Corte, e posterior Furação num Engenho de Furar, só depois é efetuada outra operação de Conformação na P30 (Figura 15 (a)).

Depois segue para o armazém intermédio e posteriormente para a secção de Soldadura (Figura 16).

As operações de Conformação e Corte na P400 e de Furação no Engenho de Furar são sempre realizadas com a presença de um tubo T1 e T2. Enquanto nas restantes operações, os equipamentos ou estão a transformar T1 ou T2. Depois de uma operação de Soldadura do tipo MAG na secção de Soldadura, o conjunto final segue para o Armazém de Expedição.

Importa ainda apresentar a sequência de operações na P400 e Engenho de Furar e na célula de Soldadura.

A sequência de operações do na P400 e Engenho de Furar (Figura 17) é a seguinte:

Operador 1:

1. Retira T1 e T2 da Mesa de Suporte e coloca na ferramenta de Conformação;
2. Aciona Prensa 400T;

Operador 2:

1. Retira T1 e T2 do Engenho de Furar e coloca cada peça num contentor.
2. Retira T1 e T2 da Ferramenta de Corte e coloca no Engenho de Furar;
3. Aciona Engenho de Furar;
4. Retira T1 e T2 da Ferramenta de Conformação e coloca na Ferramenta de Corte;

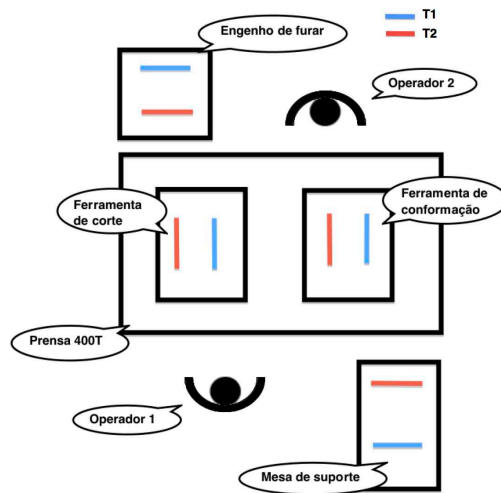


Figura 17 - Ilustração da disposição das operações na P400 e Engenho de Furar

A sequência de operações na célula de Soldadura (Figura 18) é a seguinte:

1. Retira conjunto soldado e coloca sobre a Mesa de Suporte;
2. Coloca os componentes na Mesa de Soldadura;
3. Aciona Robot de Soldadura;
4. Verifica existência de defeitos e projeções de solda da peça soldada (retira projeções e retrabalha a peça caso necessário);
5. Coloca peça no *Poka-yoke* de presença de componentes;
6. Coloca peça no contentor;
7. Dirige-se para a mesa do lado oposto e repete os passos anteriores.

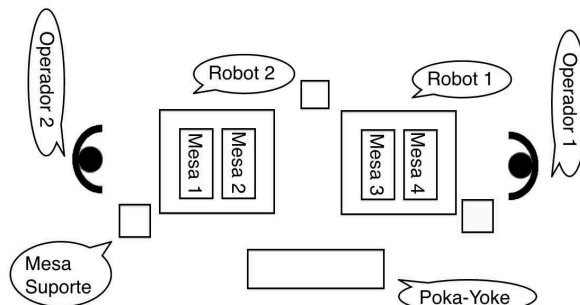


Figura 18 - Ilustração da disposição das operações na Célula de Soldadura

As operações da célula de Soldadura são efetuadas por dois operadores em paralelo, em dois Robots diferentes. O *Poka-yoke* (Figura 19) contém um conjunto de sensores que detetam a presença de todos os componentes, de modo a evitar o embalamento de peças com falta de componentes. Esta verificação é realizada no mesmo *Poka-yoke* pelos dois operadores. Este desenho faz com que, por vezes, um operador tenha de aguardar que o outro termine de fazer a Verificação e Embalamento. Após a colocação da peça no *Poka-yoke* se for detetada a presença de todos os componentes, é ativada a abertura da tampa para o contentor das peças OK (contentor verde). No caso de ser detetada a falta de algum componente é ativada a abertura da tampa para o contentor de peças Não OK (contentor vermelho). Quando o contentor se encontra cheio, um dos operadores desloca-se ao computador e imprime uma ficha de identificação e coloca no contentor. Depois olear as peças recorrendo a um equipamento próprio para o efeito, retira o contentor com um porta-paletes colocando-o junto à célula, de onde depois é levado para a zona de expedição por um empilhador, indo depois buscar um contentor vazio.

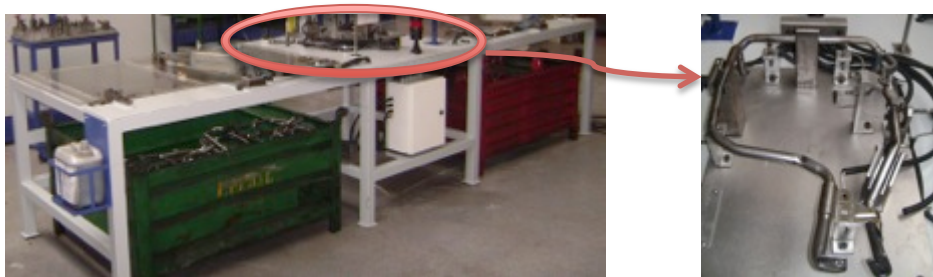


Figura 19 - *Poka-yoke* de Embalamento

A Figura 20 apresenta o VSM elaborado do estado inicial do processo produtivo dos componentes T1 e T2, desde a chegada da matéria-prima, até à Soldadura do Conjunto Final com todos os componentes, Embalagem e Expedição para o cliente.

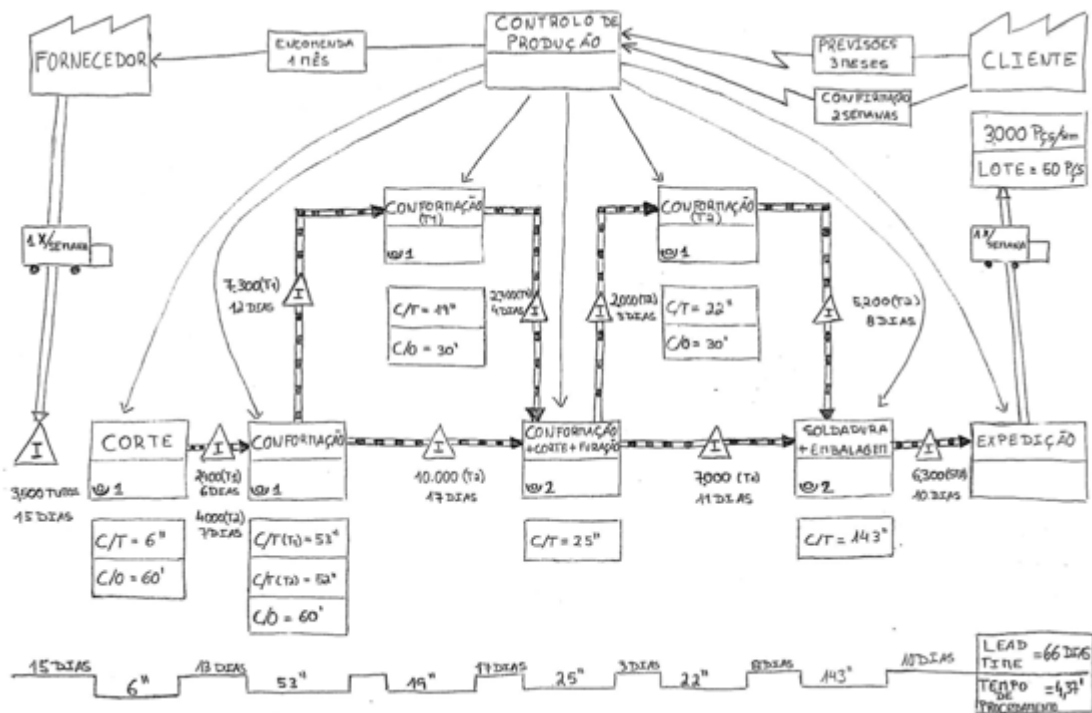


Figura 20 - Value Stream Mapping do estado inicial

Durante a visita “porta-a-porta” e elaboração do VSM do estado inicial foram identificados vários *mudas* do fluxo produtivo, dos quais se destacam e foram considerados prioridade minimizar e/ou eliminar:

- Quantidades elevadas de *stock* intermédio (Tabela 1), originadas pela sobreprodução, o que se refletia num *lead time* de 66 dias.
- Oxidação dos componentes. Isto verificava-se devido à retenção dos componentes no fluxo produtivo durante longos períodos de tempo, o que implicava uma operação extra de remoção da oxidação numa Granalhadora (equipamento que permite submeter as peças a colisão com pequenas esferas metálicas).
- Detecção tardia de defeitos. Devido ao elevado *stock* intermédio, alguns defeitos apenas eram detetados no posto seguinte, demoravam a ser detetados, levando à produção de grandes quantidades de componentes defeituosos.
- Não deteção de defeitos. Por não haver nenhum sistema de verificação da presença da furação nos tubos T1 e T2, por vezes foram detetados pelo cliente Suportes do Filtro de Ar sem as referidas furações.

- *Muda* de Transporte. O *layout* das operações (Figura 12) implicava o transporte dos componentes praticamente através de toda a fábrica (Tabela 1). Este transporte era efetuado com um Empilhador ou com um Porta-paletes.
- *Muda* de movimentos. Os operadores da célula de Soldadura movimentavam-se de uma mesa para a outra de cada *Robot* e depois embalavam a peça, fazendo cerca de 18 passos, a cada ciclo.
- Abastecimento ineficiente da célula de Soldadura. Os componentes que integram o Conjunto Final eram colocados em contentores de grandes dimensões em torno da célula. Isto implicava que os operadores tivessem de se deslocar até eles para buscar componentes e depois colocar em caixas mais pequenas perto da Mesa de Soldadura.

Tabela 1 - Stock intermédio e Distância percorrida por T1 e T2

Stock (unidades)		Distância percorrida (metros)	
T1	T2	T1	T2
19400	21200	190	330
40600		520	

3.3.3 Passo 3 – Desenhar o estado futuro

No terceiro passo do VSM, a partir da análise feita à situação inicial e dos *mudas* identificados é desenhado o VSM do estado futuro. Neste passo vai ser portanto apresentada a definição do estado futuro elaborada, e a descrição, com exemplos, das principais mudanças efetuadas através da implementação de algumas ferramentas *lean* de modo a atingir o estado futuro.

Cálculo do *takt time*

Calculou-se o *takt time*, ou seja, o ritmo da procura do cliente, de modo a tentar sincronizar a produção com a procura. Tendo em conta que a procura do Suporte do Filtro de Ar era relativamente estável, considerou-se a procura em 3000 unidades semanais, ou 600 por dia.

Teve-se como referência a célula de Soldadura, uma vez que esta apresentava um tempo de ciclo maior. Inicialmente a célula de Soldadura operava a três turnos, no entanto, com as melhorias a implementar definiu-se como objetivo apenas produzir durante dois turnos apenas. Assim sendo o tempo disponível para produzir foi calculado da seguinte forma:

$$\text{Tempo disponível} = 2 (\text{turnos}) \times [(8,5 (\text{horas}) \times 60') - (30'(\text{refeição}) + 10'(\text{Pausa}) + 30'(\text{Limpeza}))]$$

Considerou-se uma eficiência de 80% obtendo-se um tempo disponível de 704 minutos. Obteve-se um *takt time* de 71 segundos, através do cálculo da seguinte equação:

$$\text{Takt time} = \frac{704 (\text{minutos})}{600 (\text{peças})}$$

Portanto, a cada 71 segundos deveria produzir-se um Suporte do Filtro de Ar.

Análise ao Fluxo, *Layout* e operações

Depois de definido o ritmo a que se devia produzir, analisou-se o fluxo, o *layout* e operações, de forma obter-se um fluxo contínuo sempre que possível.

Foi decidido levar a cabo um conjunto de mudanças, que seguidamente se descrevem:

- Junção de algumas operações. Em concreto decidiu-se juntar as operações de Conformação dos tubos T1 e T2. Verificou-se que seria possível a adaptação da ferramenta de Conformação da P400 e passar a realizar nesta a operação de Conformação inicialmente realizada na P30. Esta mudança permitiria libertar a P30 para outros processos e os operadores associados a essa operação. Além disso, simplificava-se significativamente o fluxo, eliminavam-se os *stocks* intermédios entre as operações na P400 e a P30. Os tubos T1 e T2 depois de conformados na Máquina CNC, seguiriam diretamente para a P400.
- Aproximação de alguns equipamentos. Em concreto decidiu-se mudar a célula de Soldadura para junto da P400 e Engenho de furar fazendo a expedição por um portão lateral da fábrica junto a nova localização da célula. Decidiu-se criar um sistema FIFO¹¹, através da construção de um sistema gravitacional com duas calhas e quarenta gancheiras com rodas. Assim depois de executar a operação de Furação, o operador colocaria os tubos T1 e T2 numa gancheira (Figura 21 (a)) e esta através da força da gravidade deslizaria com os tubos até junto da célula de Soldadura (Figura 21 (b)). Aí o operador da célula de Soldadura, após retirar os tubos, faria a gancheira deslizar novamente até à outra extremidade da calha. Esta mudança permitiria a criação de um fluxo contínuo entre o Engenho de Furar e a célula de Soldadura.

¹¹ FIFO, acrónimo de *first in first out*, em português, primeiro a entrar primeiro a sair.



(a)



(b)

Figura 21 - (a) Início da calha e (b) Fim da calha

- Mudança no abastecimento dos componentes. Para além da mudança do abastecimento do T1 e T2 à célula de Soldadura, decidiu-se pela construção de um *rack* (prateleira de abastecimento) e pela utilização de caixas para os restantes componentes com menores dimensões (Figura 22). O operador retiraria assim os componentes diretamente das caixas no *rack*. Quando estas estivessem vazias colocá-las-ia na parte cima. De hora à hora um funcionário da logística passaria a abastecer o *rack* e recolher as caixas vazias.



Figura 22 - Rack de abastecimento

- Organização de ferramentas e utensílios. Decidiu-se criar painéis com os locais definidos para as ferramentas (Figura 23) e utensílios de limpeza (Figura 24). Adquiriu-se um porta-paletes para ser utilizado apenas nesta célula. Deste modo reduzir-se-ia a desorganização nos postos de trabalho e eliminar-se-ia o tempo que os operadores gastavam à procura das ferramentas, dos utensílios e do porta-paletes.



Figura 23 - Painel de Ferramentas



Figura 24 - Painel de utensílios de limpeza

- Padronização de cores. Decidiu-se criar um padrão de cores a usar nos equipamentos e na célula. Deu-se prioridade à cor branca e à azul, para o corpo dos equipamentos. Esta mudança permitiria uma mais fácil deteção de sujidade e fugas de óleo. O amarelo foi utilizado nas partes que possam representar perigo para os operadores. A melhoria em termos de aspeto e organização é patente na Figura 25, que mostra o panorama geral da célula de Soldadura antiga e da nova, e na Figura 26 da prensa antes e depois da intervenção.



(a)



(b)

Figura 25 - (a) Célula de Soldadura Antiga e (b) Célula de Soldadura Nova



(a)



(b)

Figura 26 - (a) P400 Antes e (b) P400 Depois

- *Poka-yoke* de embalagem de peças sem furação. Decidiu-se adicionar ao *Poka-yoke* existente um Sistema Pneumático com dois cilindros de modo a fazer a detecção da furação nos tubos T1 e T2, ilustrado na Figura 27. Depois de o operador posicionar o Suporte do Filtro de Ar no *Poka-yoke* e acionar o sistema, os cilindros pneumáticos avançam e fazem a detecção da furação, evitando-se assim o Embalamento de peças sem furação.



Figura 27 - *Poka-yoke* de Embalamento com Sistema Pneumático de Verificação de Furação

- Redesenho de algumas tarefas de modo a obter um trabalho mais padronizado. Decidiu-se a utilização de mesas giratórias nos *Robots* de Soldadura. Analisou-se com os operadores os processos e foram criadas Folhas de Trabalho Combinado para os operações na P400, Engenho de Furar e célula de Soldadura (Anexos B e C). Com esta análise e algumas das mudanças anteriores permitiria que as operações na P400 e no Engenho de Furar fossem executadas apenas por um operador. Na célula de Soldadura um operador ficaria unicamente responsável pela operação dos *Robots* de Soldadura, enquanto o outro operador pela Verificação das peças e Embalamento. Estas mudanças permitiriam um aumento da produtividade, pois reduzia-se a necessidade de um operador para fazer o mesmo trabalho. Permitiram também minimizar o *muda* de movimento pois por exemplo o operador para se deslocar de um *Robot* para o outro apenas necessitaria de dar dois passos, bem como o *muda* de espera, pois já não confluiriam ao mesmo tempo para o *Poka-yoke*.

A Figura 28 ilustra o *layout* final, com as mudanças acima propostas.

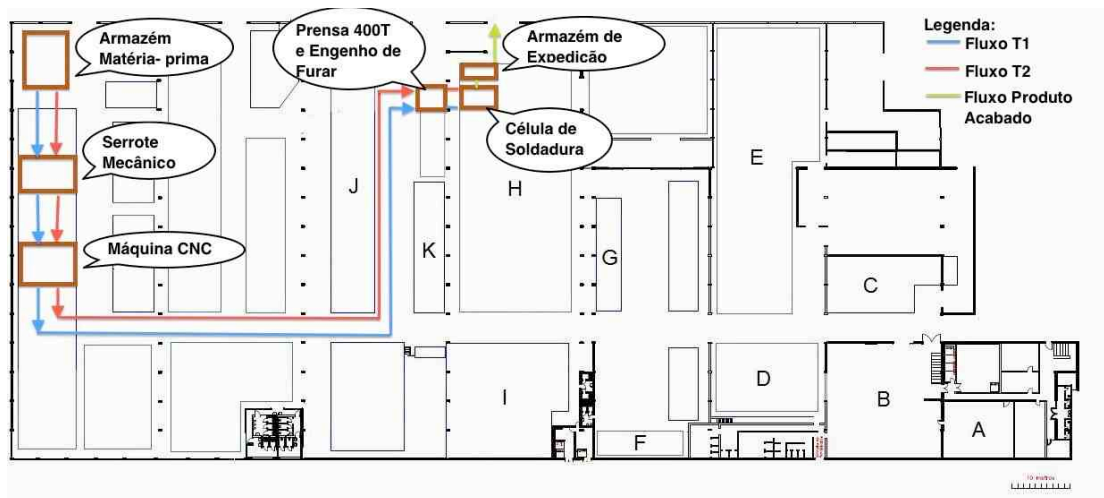


Figura 28 - *Layout* final do Suporte do Filtro de Ar

A Figura 29 mostra o VSM do estado futuro elaborado que se pretendia implementar.

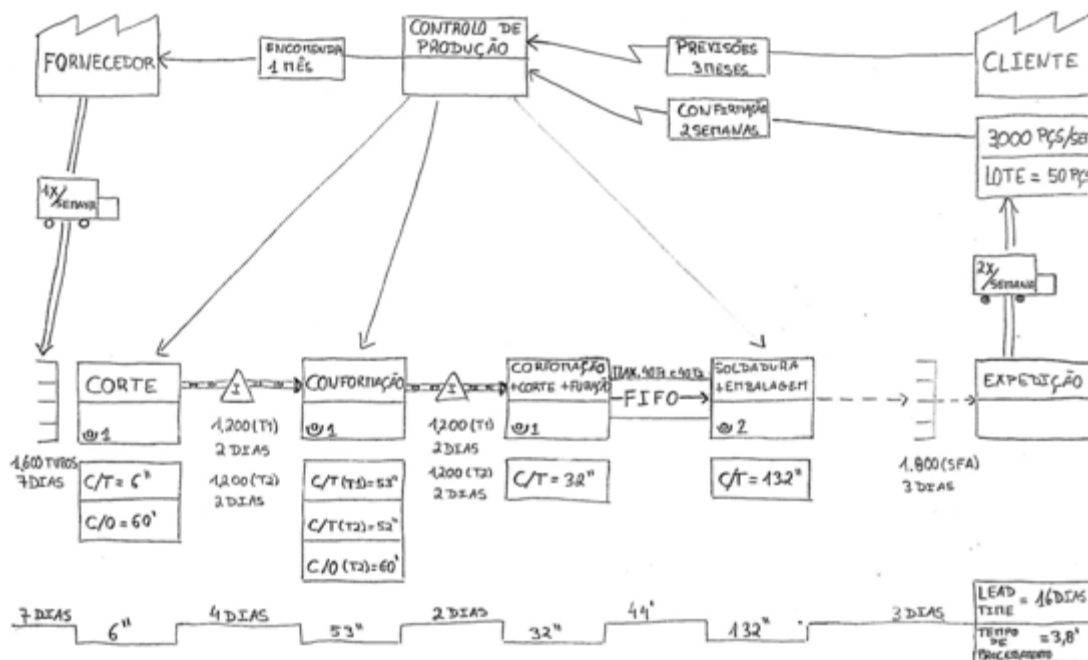


Figura 29 - *Value Stream Mapping* do estado Futuro

3.3.4 Passo 4 – Atingir o estado futuro

Como referido anteriormente o propósito do VSM é a ação, a concretização do desenho do estado futuro definido. No passo anterior, à medida que se foi desenhando o estado futuro, e definindo as principais melhorias, estas foram sendo descritas e ilustradas. Assim sendo, nesta fase, mais do que descrever novamente o que se mudou, importa descrever brevemente como se atingiu o estado futuro. Como já referido, para abordar este problema foi feito um *workshop kaizen*. À medida que se iam definindo as mudanças foi sendo elaborado um plano de ações e nomeados os responsáveis por cada ação. Algumas das ações foram concluídas durante o *workshop*, no entanto a maioria devido à sua complexidade e morosidade inerente foram sendo realizadas à posteriori. De modo a verificar o cumprimento das ações e analisar o seu resultado a equipa reuniu-se semanalmente. Durante as reuniões era analisado o estado de cada ação e à medida que iam sendo identificados novos problemas iam sendo analisadas novas soluções e acrescentadas ao plano de ações.

Um dos indicadores para aferir a eficiência dos equipamentos e das melhorias efetuadas foi o cálculo do *Overall Equipment Effectiveness*. Foram criadas folhas de registo de produção (Anexo D) e de defeitos (Anexo E), assim como instruções fornecidas aos operadores para o seu preenchimento. Foi criado um ficheiro *Excel* (Anexo F), onde os dados recolhidos eram inseridos e obtido o cálculo do OEE.





4. REFLEXÃO SOBRE OS RESULTADOS ALCANÇADOS E CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas uma reflexão dos principais resultados alcançados e as principais conclusões.

4.1 Reflexão sobre os resultados alcançados

Durante o projeto foram feitas várias melhorias ao processo produtivo do Suporte do Filtro de Ar. Algumas das melhorias foram sendo ilustradas nos capítulos anteriores e ficaram patentes as diferenças e alguns dos resultados alcançados com as mudanças efetuadas. Importa ainda fazer uma breve análise aos indicadores dos principais objetivos definidos para este projeto. Apresenta-se ainda uma análise ao OEE do mês de Abril de 2012 na célula de Soldadura.

Tabela 2 - Variação dos principais indicadores

	Variação	Antes	Depois
<i>Stock</i> intermédio (T1 e T2)	 88%	40.600	4.880
<i>Lead Time</i> (dias)	 76%	66	16
Distância percorrida (metros)	 54%	520	240
Produtividade (Peças/Colaborador)	 66%	300	500

A Tabela 2 mostra a variação dos indicadores considerados como principais objetivos para este projeto. Estes indicadores acabam por estar interligados e as diversas melhorias levadas a cabo acabam por afetar direta ou indiretamente os vários indicadores.

Os valores para o *stock* intermédio dizem respeito à quantidade de stock de T1 e T2 desde a operação de Corte até à chegada a célula de Soldadura. Obteve-se uma redução de 88% neste indicador. Segundo a bibliografia consultada o excesso de *stock* é um dos principais problemas numa empresa e acaba por ocultar outros problemas. A sua diminuição deve ser considerada pelas empresas uma das prioridades. Neste caso o valor do *stock* intermédio inicial era bastante elevado e um dos maiores problemas deste processo produtivo, o que permite considerar portanto esta melhoria um valor bastante positivo.

Os valores do *lead time* dizem respeito ao tempo que decorre desde a chegada da matéria-prima dos tubos T1 e T2 até a expedição do produto final para o cliente. Obteve-se uma redução de 76%. Este indicador está relacionado com a diminuição do *stock* intermédio e com a simplificação do fluxo. A redução do *lead time*, para além de outras consequências positivas óbvias, eliminou por exemplo o problema de qualidade da oxidação dos componentes que foi anteriormente referido.

Os valores para a distância percorrida dizem respeito à distância percorrida pelos tubos T1 e T2 desde o armazém de matéria-prima até a secção de Soldadura. Obteve-se uma redução de 54%. Esta variação resulta sobretudo da alteração do *layout* e eliminação de algumas operações. Esta redução na distância percorrida e diferença entre do *layout* inicial e final é patente ao fazer a comparação das Figuras 13 e Figura 28. A diminuição neste indicador é bastante positiva no contexto da empresa, uma vez que como referido produz um elevado número de referências. Estas implicam o seu transporte pela empresa, utilizando principalmente o empilhador, verificando-se uma elevada complexidade na logística interna.

Os valores para a produtividade dizem respeito à comparação entre a produtividade inicial e final na P400, Engenho de Furar e célula de Soldadura. Inicialmente eram necessários 10 operadores para produzir as 3000 peças semanais, nestes postos de trabalho. Com as melhorias implementadas a mesma quantidade de trabalho passou a ser realizada por 6 operadores. Obteve-se

portanto uma melhoria de 66% na produtividade. Este cálculo não teve em conta as restantes operações. A eliminação das operações de Conformação do T1 e T2 na P30 e por conseguinte libertação dos operadores afetados a essas operações, resultou na verdade num aumento de produtividade superior ao apresentado.

Como referido no capítulo anterior foi implementado o cálculo do OEE de modo a aferir a eficiência dos equipamentos e o impacto das melhorias efetuadas. Em seguida, na Figura 30, está um exemplo do *output* obtido deste cálculo.

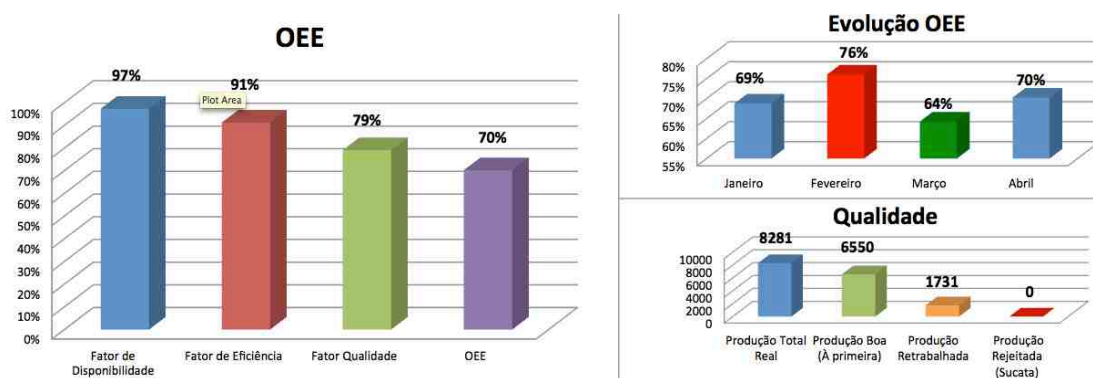


Figura 30 - *Output* do cálculo do OEE do mês de Abril de 2012

Os dados da Figura 30 dizem respeito ao mês de Abril de 2012 para a célula de Soldadura, onde é obtido o Conjunto Final. Como se verifica em Abril obteve-se um valor de 97% para o fator de Disponibilidade, 91% para o de Eficiência e de 79% para o de Qualidade, resultando num valor de OEE de 70%. Um OEE *World Class* é considerado a partir de 85% (Staminis, 2010). Pode-se considerar portanto que o valor obtido não é muito positivo. O fator da Qualidade é o que mais contribui para este baixo valor, pois houve necessidade de retrabalhar 21% da produção, no mês de Abril.

Na figura também é possível observar a evolução do OEE desde Janeiro a Abril de 2012. Tendo-se obtido em Março o valor do OEE mais baixo, de 64%. Apesar de aqui não ilustrado, o fator que nestes meses mais contribui para estes valores relativamente baixos de OEE, foi também o fator de Qualidade. Importa referir que este problema foi estudado e que consistia essencialmente no aparecimento de furos no conjunto final resultante da operação de Soldadura. Foram tomadas

algumas medidas de modo a resolver este problema e obtiveram-se algumas melhorias no final do mês de Abril que se refletem apenas numa pequena melhoria no valor do OEE desse mês.

Importa referir que os resultados obtidos são também consequência de outras pequenas mudanças e melhorias realizadas no âmbito deste projeto mas que devido à natureza e objetivo deste trabalho não foram aqui mencionadas. Neste projeto é enfocada a abordagem inicial ao problema, através de uma mudança mais brusca e radical do processo produtivo. No entanto, os resultados alcançados foram obtidos e consolidados através do enquadramento numa estratégia de melhoria continua.

4.2 Conclusão

O presente projeto permitiu a optimização da linha de produção do Suporte do Filtro de Ar na Epedal SA.

O trabalho realizado resultou no redesenho do processo através modificação do *layout* da linha de produção e aplicação de ferramentas *lean*. Isto permitiu uma melhoria considerável nos principais indicadores considerados tal como o *lead time*, o *stock* intermédio, a produtividade e a distância percorrida pelos componentes. Pode-se portanto considerar que os principais objetivos deste projeto foram atingidos.

Os resultados alcançados mostram que a aplicação da metodologia *lean* e das suas ferramentas permitem a obtenção de melhores desempenhos na produção. Demonstrou também as vantagens de uma abordagem mais disruptiva num sistema produtivo através da realização de um *workshop kaizen*. Bem como a ferramenta *Value Stream Mapping* pode servir de suporte à implementação de outras ferramentas *lean*, permitindo fazer a análise ao estado inicial e definição do estado futuro que se pretende.

A realização deste projeto enquadrado na estratégia da empresa foi um passo importante na caminhada da Epedal SA para a adoção da filosofia *lean*. É portanto importante que não se fique por aqui e se estenda a aplicação dos mesmos princípios de uma forma transversal a toda a empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ballé, M., Beauvallet, G., Smalley, A., & Sobek, D. K. (2006). The Thinking Production System. *Reflections*, 7(2), 1-12.

Bell, S. C., & Orzen, M. A. (2011). *Lean IT Enabling and Sustaining Your Lean Transformation*. New York: Productivity Press.

Borris, S. (2006). *Total Productive Maintenance*. New York: McGraw-Hill Professional.

DEGEI (2009), Notas de apoio às aulas de Gestão de Operações. Universidade de Aveiro

De Ron, A. J. & Rooda, J. E. (2006): OEE and equipment effectiveness: an evaluation, *International Journal of Production Research*, 44:23, 4987-5003

Duggan, K. J. (2002). *Creating Mixed Model Value Streams: Practical Lean Techniques for Building*. New York: Productivity Press.

Feld, W. M. (2001). *Lean Manufacturing - Tools, Techniques and How To Use Them*. New York: St. Lucie Press .

Gerald R. Aase, John R. Olson, Marc J. Schniederjans, U-shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study, *European Journal of Operational Research*, Volume 156, Issue 3, 1 August 2004, Pages 698-711,

Jeong, K., & Phillips, D.T. (2011). Application of a concept development process to evaluate process layout designs using value stream mapping and simulation. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 4(2), 206-230.

Liker, J. K., & Meier, D. P. (2007). *Toyota Talent - Developing Your People The Toyota Way*. New York: McGraw-Hill.

Liker, J. K., & Meier, D. (2006). *The Toyota Way Fieldbook A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. New York: McGraw-Hill.

Lu, X., Jia, Z., Yang, J., & Liu, H. (2011). Design and implementation of Lean Facility Layout System of a Production Line. *International Journal Of Industrial Engineering: Theory, Applications And Practice*, 18(5). Retrieved from

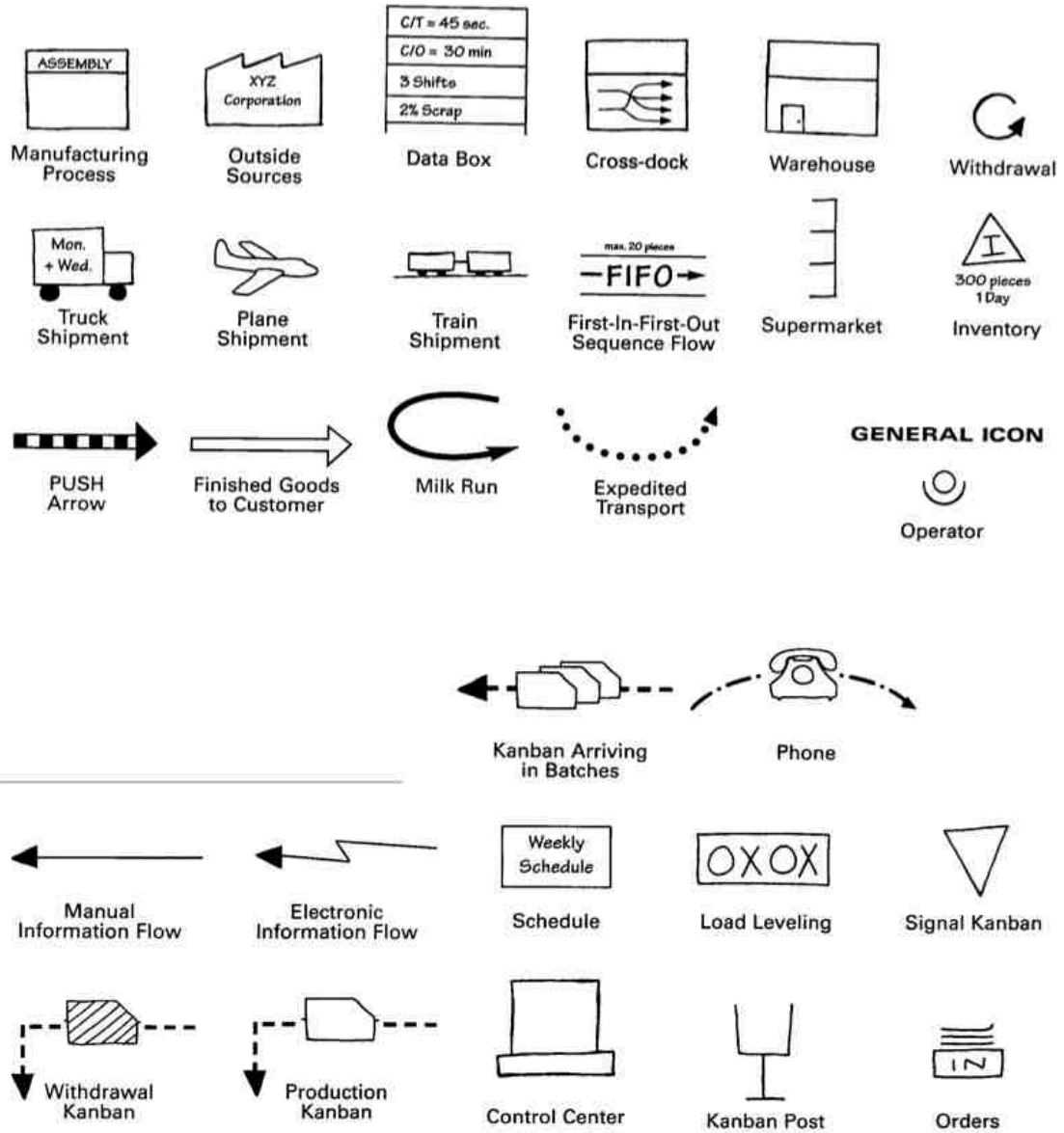
Martin, T. D., & Bell, J. T. (2011). *New Horizons in Standardized Work: Techniques for Manufacturing and Business Process Improvement*. New York: Productivity Press.

Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K. & Jambekar, A. B. (2003): Classification scheme for lean manufacturing tools, *International Journal of Production Research*, 41:13, 3075-3090

- Pinto, J. P. (2010). *Gestão de operações na Indústria e nos Serviços* (3a Edição Atualizada ed.). (L. -E. Técnicas, Ed.)
- Pinto, J. P. (2009). *Pensamento Lean: A filosofia das organizações vencedoras* (3a Edição ed.). Lidel - Edições Técnicas.
- Rother, M. (2010). *Toyota Kata: Managing people for improvement, adaptiveness and superior results*. New York: The McGraw-Hill companies.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to create value and eliminate muda*. Massachusetts: Brookline.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operation Management*. New York: Pitman Publishing.
- Staminis, D. H. (2010). *The OEE Primer Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability*. New York: Productivity Press .
- Štefanić, N., Tošanović, N., & Hegedić, M. (2012). Kaizen workshop as an important element of continuous improvement process. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 3(2), 93-98.
- Suzaki, K. (2010). *Gestão de operações Lean: metodologias kaizen para a melhoria contínua*. LeanOp.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Macmilkin Publishing Company.
- womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World*. New York: Macmillan Publishing Conipany .
- Womack, J., & Jones, D. (2002). *Seeing the whole: mapping the extended value stream*. Massachusetts: Brookline.
- Wudhikarn, R. (2011). Implementation of overall equipment effectiveness in wire mesh manufacturing.. In IEEM (pp. 819-823). IEEE. ISBN: 978-1-4577-0740-7
- www.sigmapflow.com/business-process-analysis/value-stream-mapping-software/ acedido 19 de Setembro de 2012
- www.evsm.com acedido a 19 de Setembro de 2012
- www.epedal.pt acedido a 10 de Abril de 2012

ANEXOS

Anexo A – Simbologia VSM




Anexo B - Folha de Trabalho Combinado Célula de Soldadura

WCC - World Class Company		FOLHA DE TRABALHO COMBINADO				
Designação :	Support Filtre Air	Cliente:	Gametal			
Ref. Interna :	7880020000	Obs.:				
Ref. CLIENTE:	2000005089					
Indice Eng :	I					
Elaborado por :	Rafael Abrantes	Data (0) :	19/01/12			
Revisto por :	Carlos Mingatos	Rev () :				
Dir. Produção	Carlos Mingatos					
Chefe Eq.Manhã :	Carlos Silva					
Chefe Eq.Tarde :	Anja Lourdes					
		P R O C E S S O	Operação :	Sector :		
			Operação Manual	Processo mecanico		
			Máquina : Caminho			
			Prazo de Aprendizagem			
			Equipamento de Segurança			
						
				Legenda : 1-Robot 42; 2-Robot 29; 3-Caixa de alimentação T1 e T2; 4-Rack alimentação T3, patilhas e pernos; 5-Mesa de suporte; 6-Poka-Yoke; 7-Máquina de Olear; 8-Zona de expedição.		
MODO OPERATÓRIO		TEMPOS				Desenho explicativo / Regras operatorias
N	Descrição da Operação	Tempos (seg.)		Tempos das operações (seg.)		
		Manual	Máquina	10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220		
MODO OPERATÓRIO do OPERADOR 1						
1	Retirar conjunto soldado e colocá-lo sobre a mesa suporte. Atenção: peças quentes	5	5			
2	Montar P1	6	11			
3	Montar P2	3,5	14,5			
4	Montar P3	5	19,5			
5	Montar T1	6	25,5			
6	Montar P4	4	29,5			
7	Montar T3	5	34,5			
8	Montar P5	5	39,5			
9	Montar T2	7	46,5			
10	Montar pernos	12,5	59			
11	Validar ciclo de soldadura	3	62			
12	Dirigir-se ao outro Robot	4	66			
13	Repetir passos 1 a 12	66	132			
MODO OPERATÓRIO do OPERADOR 2						
1	Dirigir-se à mesa de suporte	4	4			
2	Limpar e retirar salpicos de solda	22	26			
3	Verificar as soldas	8	34			
4	Dirigir-se à poka-yoke e posicionar peça	6	40			
5	Marcar peça com símbolo adequado	2	42			
6	Colocar peça no contentor	5	47			
7	Repetir passos 1 a 6	47	94			
TAREFAS FREQUENCIAIS do OPERADOR 2						
1	Ir buscar um porta-paletes	30	30			
2	Tirar etiqueta e colocá-la no contentor	85	115			
3	Olear peças	70	185			
4	Depositar peças na zona de expedição	11	196			
5	Colocar contentor vazio	21	217			
6			237			
7			257			
8			277			
9			297			

Anexo D - Folha de Registo de Produção

epedal		FOLHA DE SEGUIMENTO DE PRODUÇÃO					
Data:		Secção: Robots					
Turno:		Linha: Support Filtre Air					
06:30	Produção	Program. Planeada	Program. Não Planeada	Avarias	Quantidade Objectivo	Quantidade Produzida	Obs.
07:00					28		
07:30							
08:00					28		
08:30							
09:00					28		
09:30							
10:00					23		
10:30							
11:00					28		
11:30							
12:00							
12:30					28		
13:00							
13:30					28		
14:00							
14:30					14		
15:00							
Rúbrica:							
Total Peças Produzidas neste Robot							
15:00	Produção	Program. Planeada	Program. Não Planeada	Avarias	Quantidade Objectivo	Quantidade Produzida	Obs.
15:30					28		
16:00							
16:30					28		
17:00							
17:30					23		
18:00							
18:30					28		
19:00							
19:30					14		
20:00							
20:30					28		
21:00							
21:30					28		
22:00							
22:30					28		
23:00							
23:30							
Rúbrica:							
Total Peças Produzidas neste Robot							
Observações:							

Anexo F – Vista do Menu Principal do Ficheiro de Cálculo do OEE

 Designação: Support Filtre Air Ref. Interna: 7880020000 Ref Cliente: 2000005089			Overall Equipment Effectiveness		Mês Abr 2012 Hoje 22/10/12		Robot	
OEE = Fator Disponibilidade X Fator Eficiência X Fator Qualidade								
Fórmula	Designação OEE	Total Mês		Robot	seg/ 02/ Abr/2012			
					T1	T2		
A	Tempo Total	32640 minutos		Preencher ->	R29 R42	510 510	510 510	
B	Tempo Não Planeado	9235 minutos		Preencher ->	R29 R42	0 0	510 510	
C	C = A-B	Tempo Total de Operação	23405 minutos		R29 R42	510 510	0 0	
D	Paragens Planeadas	2890 minutos		Preencher ->	R29 R42	60 60	0 0	
E	E = C-D	Tempo Planeado de Produção	20515 minutos		R29 R42	450 450	0 0	
F	Paragens Não Planeadas	545 minutos			R29 R42	5 0	0 0	
G	G = E-F	Tempo Bruto de Produção	19970 minutos		R29 R42	445 450	0 0	
H	H = G/E x 100	Fator de Disponibilidade	97%		R29 R42	98,9 100,0	0 0	
I	Tempo de Ciclo Nominal	2,20 minutos		< Preencher	R29 R42	2,2 2,2	2,2 2,2	
J	Produção teórica	9077 peças			R29 R42	202 205	0 0	
K	Produção Total Real	8281 peças		Preencher ->	R29 R42	205 197	0 0	
L	L = KxI	Tempo Real de Produção	18218 minutos		R29 R42	451 433,4	0 0	
M	M = G-L	Perdas de Eficiência	1752 minutos		R29 R42	-6 16,6	0 0	
N	N = L/G x 100	Fator de Eficiência	91%		R29 R42	101,3 96,3	0 0	
O	Produção Rejeitada (Sucata)	0 peças		Preencher ->				
P	Produção Retrabalhada	1731 peças				50	0	
Q	Q = K-O-P	Produção Boa (À primeira)	6550 peças			352	0	
R	R = QxI	Tempo Útil de Produção	14410 minutos			774,4	0	
S	S = L-R	Perdas de Qualidade	3808 minutos			110	0	
T	T = R/L x 100	Fator Qualidade	79%			87,6	0	
U	U = HxNxT / 10000	OEE	70%			86,1	0,0	