

Implementação de Metodologias Lean numa Célula de Fresagem CNC

Francisco José Rodrigues de Matos

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. António Carlos Corte-Real de Sousa



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2019-01-28

“Once you stop learning, you start dying”

Albert Einstein

Resumo

A globalização tornou o mundo um lugar pequeno. Com uma oferta de produtos e serviços em todas as áreas cada vez maior, os clientes aumentaram o seu nível de exigência, procurando produtos mais específicos, de grande qualidade e produzidos em menos tempo. Um mercado assim, obriga as empresas a desenvolverem uma enorme capacidade de resposta e flexibilidade. Neste sentido, o projeto que esteve na origem da presente dissertação teve como principais objetivos a diminuição do *lead time* e o aumento do nível de serviço e da produtividade numa célula de fresagem de uma empresa de produção de ferramentas de corte, a Frezite.

Inicialmente, foi realizada uma análise exaustiva aos processos produtivos. A presença diária na célula de fresagem contribuiu para a compreensão de todas as etapas aí realizadas, permitindo entender as dificuldades vividas pelos operadores e identificar oportunidades de melhoria. Na célula existia, geralmente, um elevado número de peças em curso de fabrico e eram frequentes os atrasos de encomendas. Esta era também, caracterizada por elevados tempos de *setup* e por avarias frequentes nas máquinas.

No sentido de solucionar as oportunidades de melhoria identificadas, foram desenvolvidas e implementadas um conjunto de metodologias *lean*. Destaca-se o *kaizen* diário, que serviu para dar *feedback* aos operadores sobre os objetivos a atingir, e a metodologia 5S que permitiu uma melhor disposição da célula de trabalho e organização. Também foram utilizados alguns princípios da metodologia SMED, com vista a reduzir os tempos perdidos com longos *setup* e a implementação de um princípio do TPM, a manutenção autónoma, tendo em vista a diminuição do número de avarias e a sua antecipada deteção.

No final do projeto, foram cumpridos os objetivos, obtendo-se uma diminuição considerável dos atrasos de encomendas e uma diminuição do tempo de *setup*. Estes ganhos refletiram-se numa diminuição considerável do *lead time* da célula, assim como um conseqüente aumento do nível de serviço.

Implementation of Lean Methodologies in a CNC Milling Cell

Abstract

Globalization has turned the world a smaller place. With a wider range of products and services in all areas, customers have increased the level of demand: costumers now look for more specific, high quality products that are produced in less time. Such a market forces companies to develop enormous responsiveness and flexibility. In this sense, the project that was the origin of the present dissertation had as main objectives the reduction of the lead time and the increase of the level of service and the productivity in a milling cell of a company of production of cutting tools, Frezite.

Initially, an exhaustive analysis was carried out on the production processes. The daily presence in the milling cell contributed to the evaluation of all the steps performed, allowing to perceive the main daily difficulties faced and to identify improvement measures. In the cell, there were a large number of parts within the course of manufacture and so the delays of orders in process were frequent. This was characterized by high setup times and frequent machine failures.

In order to provide solutions for the identified improvement opportunities, a set of lean methodologies were developed and implemented. The daily kaizen, which served to provide feedback to the operators on the goals to be achieved, stands out, as well as the 5S methodology that allowed a better disposition of the work cell and organization. Some principles of the SMED methodology were also used with the aim of reduce the time lost with long setup and the implementation of a TPM principle, the autonomous maintenance, in order to reduce the number of failures and their early detection.

At the end of the project, the objectives were satisfactorily met, resulting in a considerable reduction in the order delays and a decrease in the setup time. These gains reflected on a significant decrease in the whole lead time of the cell. A consequent increase in the level of service was also observed.

Agradecimentos

À Frezite – Ferramentas de Corte S.A., pela oportunidade e condições proporcionadas no desenvolvimento deste projeto de dissertação.

Ao professor António Corte-Real de Sousa, orientador na FEUP, pelo apoio, confiança transmitida e partilha de conhecimento, cruciais para a execução desta dissertação.

Ao Engenheiro Fernando Figueiredo, orientador na Frezite, e ao Engenheiro Francisco Santos pelo apoio e disponibilidade, assim como a confiança demonstrada no sucesso do projeto.

À minha família, namorada e amigos pela paciência, conselhos e apoio proporcionados ao longo de toda a dissertação.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto.....	1
1.2	Apresentação da Empresa e da Área Produtiva	1
1.2.1	História.....	2
1.2.2	UEN Madeira - Frezite	3
1.3	Objetivos do projeto	4
1.4	Método seguido no projeto.....	4
1.5	Estrutura da dissertação	4
2	Revisão Bibliográfica.....	5
2.1	Perspetiva histórica.....	5
2.2	Pensamento Lean	6
2.2.1	Princípios do Lean	6
2.2.2	Desperdícios.....	8
2.3	Metodologias.....	9
2.3.1	5S	9
2.3.2	<i>Plan-Do-Check-Act</i> (PDCA).....	11
2.3.3	Estudo dos tempos e métodos	12
2.3.4	<i>Single Minute Exchange of Dies</i> (SMED)	13
2.3.5	<i>Total Productive Maintenance</i> (TPM).....	14
3	Enquadramento do Ambiente Empresarial	16
3.1	Caracterização geral da fábrica	16
3.2	Caracterização da Célula de Fresagem.....	17
3.3	Chegada de Material	18
3.4	Procedimento Operativo.....	19
3.4.1	Estudo das Operações	20
3.5	Controlo da Produção	23
3.5.1	<i>Kaizen</i> Diário	23
3.5.2	<i>Work in Progress</i> (WIP)	23
3.6	Atrasos de Produção.....	24
3.7	Qualidade.....	25
3.8	Manutenção	26
4	Apresentação das Soluções Propostas e Resultados Obtidos	28
4.1	Implementação de 5S	28
4.1.1	Ferramentas	32
4.1.2	Porta-ferramentas.....	35
4.2	Rebarbagem	37
4.3	Procedimento Operativo.....	39
4.4	Controlo da Produção	41
4.4.1	<i>Werma Win</i>	43
4.5	Qualidade.....	44
4.6	<i>Total Productive Maintenance</i> (TPM)	46
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	48
5.1	Trabalhos Futuros	48
	Referências	50
ANEXO A:	Somatório do Tempo de Máquina Parada Inicialmente	52
ANEXO B:	Somatório do Tempo de Máquina parada após Implementação de Melhorias.....	53
ANEXO C:	Indicadores da célula de fresagem.....	54
ANEXO D:	<i>Werma Win</i>	56
ANEXO E:	Manutenção Autónoma.....	57

Siglas

CEO – *Chief Executive Officer*

CM – Centro de Maquinagem

CNC – *Computerized Numerical Control* (Comando Numérico Computorizado)

FIFO – *First In First Out* (Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair)

FMT – *Frezite Metal Tooling*

FPS – *Ford Production System* (Sistema de Produção da Ford)

HSK – *Hollow Taper Shank* (Sistema de aperto de haste cônica)

HW – *Hydrogen-Tungsten* (Carboneto tungstênio)

ISO – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização)

OF – Ordem de Fabrico

PCD – *Polycrystalline diamond* (Diamante policristalino)

PDCA – *Plan-Do-Check-Act* (Planear-Executar-Verificar-Atuar)

SMED – *Single Minute Exchange of Dies*

TAW – *Tool Auxiliary Wood* (ferramenta auxiliar)

TPM – *Total Productive Maintenance*

TPS – *Toyota Production System* (Sistema de Produção da Toyota)

UEN – Unidade Estratégica de Negócio

WIP – *Work In Progress* (Carga de Trabalho)

Índice de Figuras

Figura 1 - Logótipo Frezite (Frezite, 2018).....	2
Figura 2 - Áreas de negócio do grupo.	2
Figura 3 - Diferentes ferramentas produzidas na UEN madeira.	3
Figura 4 - Casa do TPS (Simboli <i>et al.</i> , 2014).	6
Figura 5 - Os três "Mu": <i>muda, mura, muri</i> (Abreu, 2017).	8
Figura 6 - Mar de Inventário (Suzaki, 2010).	9
Figura 7 - Metodologia 5S.	10
Figura 8 - Ciclo PDCA (Adaptado Ferreira, 2018).	12
Figura 9 - Ilustração da aplicação das diferentes fases do SMED (Adaptado Coimbra, 2013).	14
Figura 10 - Centro de Maquinagem CM-0017.	17
Figura 11 - Zona entrada de material.....	18
Figura 12 - Tapete rolante.	19
Figura 13 - Exemplo de uma peça com rebarba.	22
Figura 14 - Operação de Escatelagem.	25
Figura 15 - Detecção de fuga do fluido de corte.	27
Figura 16 - Criação de três fluxos de trabalho.....	29
Figura 17 - Antes (lado esquerdo) e depois (lado direito) da criação dos três fluxos.	29
Figura 18 - Zona de Prioridades.	30
Figura 19 - Zona de caixas com STOP.....	30
Figura 20 - Material acumulado considerado desperdício.	31
Figura 21 - Representação do desperdício removido.	31
Figura 22 - Árvores de fixação misturadas.....	31
Figura 23 - Antes (lado esquerdo) e depois (lado direito) da organização das árvores.....	32
Figura 24 - Armário antigo com lixo acumulado.	33
Figura 25 - Antes (lado esquerdo) e depois (lado direito) da organização das ferramentas <i>standard</i>	33
Figura 26 - Gaveta das ferramentas afiadas (antes).....	34
Figura 27 - Gaveta das ferramentas afiadas (depois).	34
Figura 28 - Posição inicial das TAW.....	34
Figura 29 - Ilustração dos separadores modulares em plástico.	34
Figura 30 - Gaveta de brocas e machos de roscar.	35
Figura 31 - Porta-ferramentas cónico.	35
Figura 32 - Máquina de medição Zoller.	35
Figura 33 - Posição carrinho 1 antes da troca.....	36
Figura 34 - Posição carrinho 2 (carrinho da extremidade direita) antes da troca.....	36

Figura 35 - Estado inicial do carrinho de ferramentas 1.....	36
Figura 36 - Carrinho de ferramentas 1 limpo e organizado.....	36
Figura 37 - Carrinho 2 organizado.	37
Figura 38 - Porta-ferramentas cónico e pino.	37
Figura 39 - Peça por rebarbar.	37
Figura 40 - Peça com rebarbagem parcial na máquina.....	37
Figura 41 - Operação de comparar.	41
Figura 42 - Aperto Hidro.	41
Figura 43 - Quadro <i>Kaizen</i> diário.	43
Figura 44 - Sinalização visual <i>Andon</i>	43
Figura 45 - Mecanismo de alerta de operação de fresagem manual.....	45
Figura 46 - Aplicação de cartão entre as peças.	46
Figura 47 - Implementação de manutenção autónoma.....	47
Figura 48 - Indicador de Produtividade.....	54
Figura 49 - Indicador de <i>lead time</i>	55
Figura 50 - Indicador de não conformidades.....	55
Figura 51 - Registo de atividade num período de tempo à escolha.....	56
Figura 52 - Disponibilidade por máquina e global fornecidas pelo <i>software</i>	56
Figura 53 - Procedimento de manutenção autónoma CM-0017.....	57
Figura 54 - Folha de registo de manutenção autónoma CM-0017.....	58

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Exemplo do procedimento de execução de uma peça.....	21
Tabela 2 - Tempos de paragem de máquina na situação inicial.	21
Tabela 3 - Divisão de tempos por tipo de <i>setup</i> na situação inicial.....	22
Tabela 4 - Tempos do teste de rebarbagem na máquina.....	38
Tabela 5 - Tempos de paragem de máquina após implementação de melhorias.....	39
Tabela 6 - Divisão de tempos por tipo de <i>setup</i> após implementação de melhorias.	40
Tabela 7 - Ganho de tempo de máquina final.....	40
Tabela 8 - Variação mensal do <i>lead time</i> e produtividade.	42

1 Introdução

No âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, especialização em Gestão da Produção, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), foi desenvolvido o presente trabalho em contexto empresarial na Frezite – Ferramentas de Corte S.A. O objetivo deste projeto foca-se na melhoria da eficiência de produção de uma célula de fresagem CNC, melhorando o nível de serviço e reduzindo o *lead time*. De forma a atingir o pretendido, utilizaram-se, no curto espaço de tempo de aproximadamente quatro meses, metodologias provenientes da filosofia *lean*.

1.1 Enquadramento do projeto

O mundo evolui de forma incrivelmente acelerada. O setor industrial não foge à regra e o espaço para as empresas pouco eficientes vai diminuindo. O foco no cliente tornou-se a base do sistema e o nível de serviço é reconhecido pela crescente variedade de produtos de qualidade e a baixo custo, fornecidos de forma cada vez mais rápida. Sempre com os olhos postos no mercado, as empresas têm de evoluir e tornar-se cada vez mais flexíveis, caso contrário, a estagnação irá esmagá-las em relação à concorrência. Esta constante mudança diária, a médio prazo, torna os processos ineficientes e gera elevados níveis de desperdício.

A Frezite, empresa de engenharia de soluções para ferramentas de corte, tem-se mantido sempre na vanguarda e prova disso é a sua aposta na variedade de produtos, com cerca de 70% destes feitos à medida do cliente.

No sentido de sustentar esta tendência de responder às necessidades individuais de cada cliente e de continuar um passo à frente da concorrência, tanto a nível de qualidade, de preço e de tempo de entrega, surgiu a necessidade de implementar o conceito *Lean Production*. Esta filosofia de gestão tem como objetivo a eliminação de desperdícios, anulando todo o processo que não acrescenta valor ao produto. Assim, será possível fazer mais com menos, isto é, aumentar o nível de produção com a utilização de menos recursos.

O trabalho que está por trás da presente dissertação teve como objetivo isto mesmo, ou seja, aumentar a produtividade e reduzir o tempo de entrega, utilizando os mesmos recursos, recorrendo sobretudo às várias metodologias da filosofia *lean*.

1.2 Apresentação da Empresa e da Área Produtiva

“A Frezite - Ferramentas de Corte, S.A., foi fundada com o objetivo de produzir e comercializar ferramentas de alta tecnologia e precisão, com aplicação na transformação da madeira, materiais derivados, plásticos e metais. A sede da empresa está localizada na Trofa e a sua vasta gama de produtos é capaz de satisfazer os requisitos mais exigentes e complexos das indústrias de transformação de madeira (serração, carpintaria, mobiliário, processamento de painel de partículas e o sector de construção em geral) e no campo da metalomecânica (indústria automóvel, aeronáutica, moldes, maquinaria de precisão, entre outras).” (Frezite, 2018)

1.2.1 História

A Frezite – Ferramentas de Corte, S.A. foi constituída no ano de 1978, por 12 pessoas, dedicando-se ao fabrico de ferramentas de corte para madeira, maioritariamente fresas, que até então, eram importadas.



Figura 1 - Logótipo Frezite (Frezite, 2018).

Desde então, a empresa foi gradualmente conquistando uma faixa crescente do mercado interno e externo, até atingir a posição de principal fornecedor de ferramentas de corte, que hoje ocupa, tendo para isso muito contribuído a presença constante, desde 1981, em feiras internacionais.

Os anos de 90, 91 e 93 foram anos de vultuosos investimentos que permitiram à empresa iniciar o fabrico de novos produtos com valor tecnológico acrescentado, cuja produção só pode ser obtida com equipamento de CNC de última geração. Em 1995 a Frezite mudou de instalações. Nestas são notórias as melhorias a nível de Layout produtivo e circuitos de comunicação.

Em 1996 a Frezite inicia a sua internacionalização, constituindo a empresa Frezite Brasil no Brasil.

Com o rápido avanço da tecnologia nos setores automóvel e aeroespacial, em 2005 foi criada a marca FMT, destinada à comercialização de ferramentas de corte para metal. A partir daí o projeto cresceu, dando origem à criação e aquisição de novas empresas, em diferentes países.

“Hoje, associada a uma tecnologia de ponta que detém e domina, a Frezite possui um potencial de crescimento elevado e uma dinâmica competitiva. Pode-se considerar que o seu posicionamento está, na sua área, entre as principais construtoras de ferramentas de corte a nível mundial” (Frezite, 2018). Devido a uma grande aposta na inovação, a Frezite afirmou-se em diferentes áreas, de forma a complementar e suportar a base do seu negócio, as ferramentas de corte. Possui assim três unidades estratégicas de negócio (UEN): madeira, metal e 3i, como se pode ver na Figura 2.

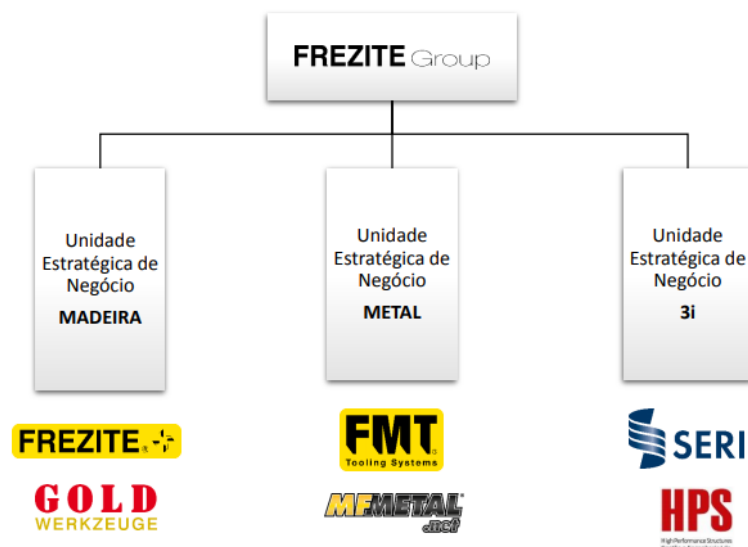


Figura 2 - Áreas de negócio do grupo.

Com o intuito de se impor no mundo das ferramentas de corte e trazer confiança ao cliente, a Frezite, em 1994, tornou-se certificada em qualidade, segundo a norma ISO 9001 e em 2000 também obteve a certificação a nível do ambiente, segundo a norma ISO 14001. Simultaneamente, orgulha-se de ser uma das empresas pioneiras do sector metalomecânico a obter a certificação ambiental pela APCER, segundo a norma NP EN ISO 14001.

Atualmente, os produtos e tecnologia da Frezite estão presentes em mais de 50 países distribuídos pelos vários continentes, estando as suas unidades mais importantes situadas em Portugal, em Espanha, no Brasil, na República Checa, na Alemanha, na Polónia, no México e no Reino Unido.

1.2.2 UEN Madeira - Frezite

A UEN Madeira, onde se realizou o trabalho conducente a esta dissertação, foi a primeira área de negócio a que o grupo se dedicou aquando a sua formação. Hoje em dia, são ali desenvolvidas e produzidas sete grandes famílias de produtos:

- Fresas e Porta-Lâminas com Furo;
- Fresas e Porta-Lâminas com Encabadouro;
- Ferramentas em Diamante Policristalino;
- Brocas;
- Serras Circulares;
- Sistemas de Aperto;
- Lâminas.

A produção encontra-se dividida por dois grandes pavilhões, um destinado à produção de serras circulares e um outro destinado à produção dos restantes produtos. Cerca de 40% das serras circulares são produzidos “à medida do cliente”, ou seja, a produção é executada à unidade e não em série. Dos restantes produtos, cerca de 70% da produção é também feita “à medida do cliente”.

Mostram-se, na Figura 3, as diferentes ferramentas produzidas na UEN madeira. Na célula dos centros de maquinagem (CM), onde foi desenvolvido o trabalho para esta dissertação, são produzidas fresas e porta-lâminas com furo, fresas e porta-lâminas com encabadouro, ferramentas em diamante policristalino, brocas e sistemas de aperto.



Figura 3 - Diferentes ferramentas produzidas na UEN madeira.

1.3 Objetivos do projeto

Numa indústria em que a produção não é *standard*, e por isso, vai de encontro às necessidades especiais de cada cliente, a margem de desperdícios associada a esta customização é elevada. Neste sentido, a Frezite detetou que a sua célula de fresagem não cumpria os requisitos necessários para oferecer este tipo de serviço ao cliente, e propôs um projeto para reduzir o desperdício e conseguir melhorar a resposta dada por esta célula.

O objetivo do projeto foi o de, através de metodologias *lean*, melhorar a eficiência de produção da célula de fresagem. Para isto, foi imperativo criar indicadores capazes de refletir o aumento do nível de serviço da célula em termos de redução do *lead time* e de aumento da produtividade.

1.4 Método seguido no projeto

O projeto dividiu-se em quatro fases. Numa fase inicial, realizou-se uma recolha bibliográfica sobre a gestão da produção, mais concretamente a filosofia *lean*. De seguida, foi estudado o processo produtivo de toda a fábrica de um modo geral e, mais tarde, aprofundado o processo produtivo da célula de fresagem. Posteriormente, depois de uma análise cuidada, o foco centrou-se em melhorar o processo da célula em questão. Por fim, foram comparados o desempenho do processo no estado inicial com o desempenho do processo melhorado, retirando-se daí conclusões e ideias para o futuro.

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos, seguindo-se uma breve descrição de cada um destes.

No primeiro capítulo, apresenta-se a história da empresa, dando especial enfoque à célula onde o projeto decorreu. São apresentados os motivos e necessidades que levaram à realização deste projeto, os principais objetivos do projeto que foi desenvolvido e metodologia que foi seguida.

No segundo capítulo, é feito um enquadramento teórico sobre a metodologia *lean*, que esteve por trás da realização do projeto e de todas as tomadas de decisão.

No terceiro capítulo, é descrito e analisado todo o processo produtivo. É dado especial enfoque ao processo produtivo da célula da fresagem, objeto do trabalho que está por trás desta dissertação. Além disso, é realizado um diagnóstico relativo à identificação de oportunidades de melhoria.

No quarto capítulo, são apresentadas as soluções propostas e implementadas, em certos casos.

No quinto capítulo, são reunidas as conclusões do projeto e deixadas sugestões que, no futuro, poderão tornar-se mais-valias para a empresa Frezite.

2 Revisão Bibliográfica

No sentido de contextualizar o aumento da capacidade das indústrias à mudança, este capítulo apresenta a sustentação teórica necessária para o desenvolvimento de ferramentas e métodos que permitem às empresas atingir a flexibilidade que lhes é exigida.

Aborda-se, de forma sucinta, o sistema de produção da *Toyota* e a sua adaptação para o pensamento *lean*, filosofia na qual assentou o trabalho realizado, apresentando uma abordagem histórica, assim como, os princípios e metodologias em que se baseia.

2.1 Perspetiva histórica

“O cliente pode escolher a cor do carro que quiser, desde que seja preto”, uma celebre frase que introduz um novo sistema de produção implementado por Henry Ford.

Nas primeiras décadas do século XX, de modo a dar resposta ao aumento da procura de diversos produtos, Ford estabeleceu um novo sistema produtivo, mais tarde denominado por “Ford Production System” (FPS). Este foi o primeiro sistema de produção em massa, que atualmente ainda é aplicado (Bhagwat, 2005).

O caos e a destruição instalados após a 2ª guerra mundial, aliados ao facto de muitas das grandes empresas se terem focado na produção em massa de materiais militares, originou um aumento geral da procura de todo o tipo de produtos, de modo a reconstruir e colmatar as dificuldades deixadas pela guerra. Em consequência, estas foram obrigadas a aumentar o tamanho dos lotes de produção e diminuir a variedade de oferta. (Riezebos *et al.*, 2009).

Surge, então, a necessidade de encontrar uma alternativa ao modelo de Ford, de modo a obter um sistema mais eficiente, mais flexível, de maior qualidade e que reduzisse os desperdícios.

Perante a situação vivida no pós-guerra e com as vendas da *Toyota* em colapso, em 1950, *Eiji Toyoda*, neto do fundador da empresa, deslocou-se aos Estados Unidos da América com o propósito de conhecer o gigante da indústria automóvel, a Ford. Após esta visita, *Eiji* trouxe consigo o objetivo de atingir os níveis de produtividade do colosso americano, mas rapidamente percebe que o Japão não tinha capacidade de implementar um sistema de “produção em massa” devido à realidade vivida neste país (Womack *et al.*, 1990). Surge então, *Taiichi Ohno*, engenheiro mecânico, vindo de uma área muito diferente, o que, na visão de Ohno, seria uma vantagem para a reestruturação do sistema produtivo. Ohno rapidamente entendeu que a flexibilidade seria uma característica fundamental para o sucesso de uma empresa. A partir daí, desenvolveu um sistema produtivo que procurava a utilização de menos recursos e que fosse mais flexível para fazer face a uma procura mais reduzida e com maior variabilidade. (Jacobs e Chase, 2010).

Surgiu, então, o *Toyota Production System* (TPS) baseado em duas filosofias centrais na cultura nipónica: eliminação de desperdícios e o respeito pelas pessoas (Jacobs e Chase, 2010).

2.2 Pensamento Lean

“O valor é sempre definido pelo cliente final” (Lian e Landeghem, 2002).

Baseado no *Toyota Production System* (TPS), o conceito *lean* foi popularizado no livro *The Machine that Changed the World* (Womack et al., 1990). A filosofia *lean* surge como uma forma de especificar valor, criando a melhor sequência de ações, eliminando todas as atividades que não gerem valor e, conseqüentemente, diminuindo o *lead time* (tempo entre o pedido do cliente e chegada do produto final a este), reduzindo assim o preço, assegurando o prazo e qualidade pretendidos pelos quais o cliente está disposto a pagar (Carreira, 2005).

Conclui-se que o objetivo fundamental da filosofia *lean* é a criação de valor e eliminação de desperdício, tendo sempre em atenção que esta apenas é totalmente eficaz se for implementada de forma completa e sistemática.

A filosofia *lean* e a sua robustez são facilmente demonstradas através da analogia da “Casa do *lean*”, representada na Figura 4. “Uma casa é um sistema estrutural. A casa só é forte se o telhado, os pilares e as fundações forem fortes” (Liker e Meier, 2006). Verifica-se que no topo da casa se encontram os objetivos principais: a elevada qualidade, o baixo custo e o reduzido *lead time*. De modo a garantir que estes objetivos sejam alcançados e a estrutura da casa seja suportada, existem dois grandes pilares: o *Just-in-time* (JIT) e o *Jidoka* (Eaton, 2013). O primeiro determina que um artigo deve ser produzido e transportado na hora exata e sítio certo, possibilitando uma imediata redução de *stock*. Já o *Jidoka* significa “automação com toque humano”, ou seja, automatizar os processos, mas, ao mesmo tempo, capacitá-los de mecanismos para detetar o erro e parar instantaneamente de modo a não replicar o mesmo. Para atingir o telhado da casa e fixar os pilares, há que ter em conta os “alicerces” que são o início de todo o processo de construção e representam a base necessária para o desenvolvimento de tudo o resto. Estes devem conseguir o nivelamento da produção (*Heijunka*), o trabalho *standard* e *Kainzen* (C.T.C.P., 2011).

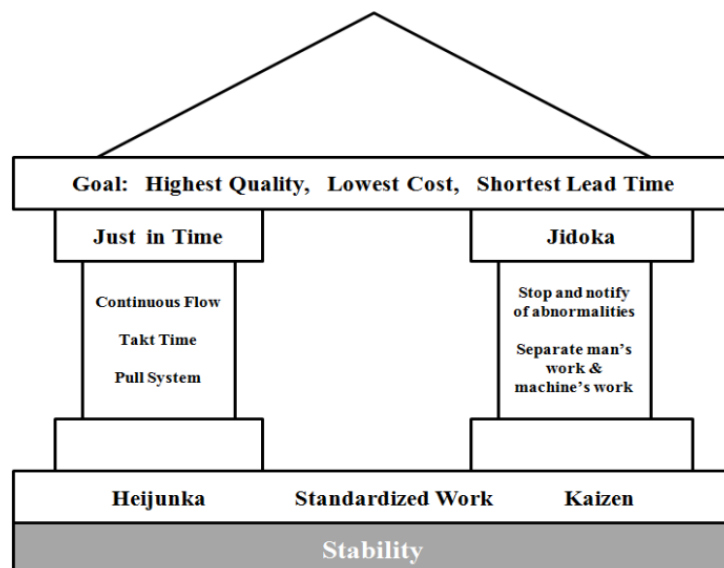


Figura 4 - Casa do TPS (Simboli et al., 2014).

2.2.1 Princípios do Lean

“A peça certa, no momento exato, na quantidade necessária” (Holweg, 2007).

Com o sucesso obtido na *Toyota*, houve um crescendo de empresas a tentar replicar o método utilizado, mas a falta de conhecimento dos conceitos práticos levou a que muitas destas falhassem o objetivo. Em 1996, *Womack* e *Jones* publicaram o livro *Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*, que acabou por funcionar como um guia para a criação de uma empresa *lean*. Neste livro, são descritos os cinco princípios nos quais se baseia a filosofia *lean* que *Dias* (2016) intitula como “antídoto dos desperdícios”. Estes princípios são apresentados, resumidamente, nos pontos seguintes.

Especificar Valor

O primeiro princípio é a base na criação de um novo produto: definir o valor na ótica do cliente final e não na ótica de quem o produz. Uma empresa pode produzir o melhor produto do mundo a um preço muito baixo e ainda assim obter boa margem de lucro, mas não passará de um desperdício se o cliente não estiver disposto a pagar por ele. Assim, apenas sabendo o real valor, se conseguem satisfazer os interessados.

Identificar a Cadeia de Valor

Segundo *Taiichi Ohno*, “Tudo o que estamos a fazer é olhar na linha de pedido do cliente e reduzir essa linha de tempo removendo os resíduos sem valor agregado” (Coimbra, 2013).

Após especificar valor é necessário explorar a sequência de ações requeridas para criar um determinado produto, desde o pedido do cliente até à entrega final. Esta análise divide as ações em três categorias: atividades que acrescentam valor, atividades que não acrescentam valor, mas que são inevitáveis e, por fim, atividades que não acrescentam valor e são dispensáveis, sendo o objetivo eliminar estas. Identificar e mapear a cadeia de valor, geralmente, expõe grandes quantidades de desperdício.

Criar Fluxo

“A ideia de fluxo de material assusta muita gente. Desde a escola, as pessoas são ensinadas que produzir um lote é mais rentável do que produzir uma única unidade” (Coimbra, 2013).

Ultrapassada a identificação da cadeia de valor e eliminando as ações consideradas desperdícios, chega a fase de conseguir ligar de forma dinâmica todas as etapas do processo produtivo. O fluxo de materiais, pessoas, informação e de capital, aliado à inexistência de paragens, irão originar uma diminuição direta dos stocks e, ao mesmo tempo, aumentar a velocidade de produção. A nível global vai-se traduzir numa melhoria significativa no tempo de resposta ao cliente.

Pull

O sistema *Pull* baseia-se na produção em função da necessidade exata do cliente, ou seja, produz-se o que o cliente pretende, na data certa. Assim, o sistema torna-se flexível, reduzindo os níveis de stock.

Perfeição

O último dos cinco princípios *lean* começa por fomentar o espírito crítico de toda a empresa, desde o CEO até ao operador, criando um processo cíclico de melhoria contínua, o chamado *kaizen*. A envolvimento de toda a estrutura a nível de recurso humanos, aliado ao facto de se conseguirem sentir as melhorias em concreto a todos os níveis, estimula toda a empresa a encontrar formas de melhorar e eliminar desperdícios, tornando assim os processos de melhoria num ciclo contínuo.

Provavelmente, o aliado mais importante da perfeição é a transparência que existe num sistema *lean*, uma vez que toda a gente consegue ver tudo (Ferreira, 2018).

2.2.2 Desperdícios

Fujio Cho, da *Toyota*, define 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” (Suzaki, 2010).

Para Ohno (1988) “A insuficiência de padronização e racionalização cria desperdício (*Muda*), inconsistência (*Mura*) e irracionalidade (*Muri*)”, também conhecidos como “os três MU’s”, ilustrados na Figura 5.

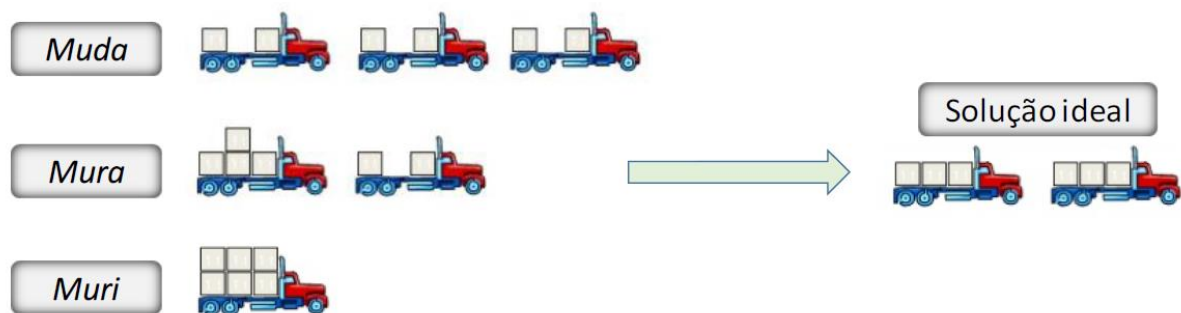


Figura 5 - Os três "Mu": *muda*, *mura*, *muri* (Abreu, 2017).

Analisando a Figura 5, é possível observar que no *muda* cada caminhão transporta menos do que é capaz, traduzindo assim uma situação de desperdício. No *mura*, um dos caminhões transporta bastante mais carga que o outro, representando uma situação de desequilíbrio. Por fim, o *muri* apresenta uma situação de sobrecarga do caminhão. Com base neste exemplo, é possível entender que muitas vezes tem-se os recursos necessários para criar uma “solução ideal”, mas estes não são geridos de forma correta, acabando por gerar *muda*.

Muda

O termo japonês *muda* significa desperdício, ou seja, tudo aquilo que não acrescenta valor para o cliente. Demasiado *muda* traduz-se em excessivas variações inesperadas. Posto isto, Imai (2012) considera sete grandes grupos de desperdícios:

- Sobreprodução - com o objetivo de anteciparem pedidos de clientes ou precaverem potenciais problemas, frequentemente as empresas lançam produtos para produção em quantidades superiores às necessárias ou mais cedo do que o previsto. Assim geram-se custos de transporte e armazenamento do inventário em excesso e consome-se tempo de equipamentos e operários. (Ohno, 1988).
- Tempos de espera - Qualquer tempo de paragem dos operadores que não é aproveitado para acrescentar valor. Geralmente esta perda é provocada pelos tempos de *setup*, avarias de equipamentos, nivelamento de carga ou faltas de material.
- Movimentações – todos os movimentos que o operador realiza que não contribuem para acrescentar valor ao produto. A maioria das situações são associadas a procura de ferramentas e deslocações de material, situações que seriam, na maioria dos casos, resolvidas com uma mudança de *layout* e padronização do trabalho.
- Sobre processamento – operações que não acrescentam valor ao produto, tais como, a má definição dos requisitos do cliente, a falta de instruções de trabalho e o uso de ferramentas inadequadas.

- Excesso de inventário – o inventário em excesso aumenta consideravelmente o custo de um produto, originando mais custos de armazenamento, transporte e de recursos humanos. No entanto, a redução deste deve ser muito bem planeada, uma vez que este excesso esconde vários problemas. A Figura 6 faz uma analogia interessante sobre este problema, representando a água como sendo o inventário: à medida que o nível da água baixa (inventário), começam a surgir os problemas como defeitos, mau planeamento e avarias.

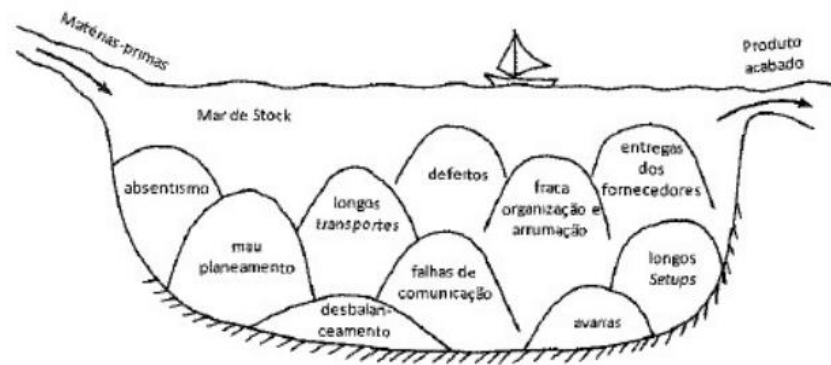


Figura 6 - Mar de Inventário (Suzaki, 2010).

- Transporte – ocorre quando o transporte de matérias-primas, componentes ou produtos finais não acrescentam valor. A solução passa por otimizar *layouts*, otimizar meios de transporte e sincronizar processos.
- Defeitos – quando um produto não está de acordo com as especificações do cliente é considerado um defeito. Estes acabam por gerar uma interrupção do fluxo que, na maioria dos casos, gera um retrabalho ou até mesmo um produto novo, havendo assim uma grande quantidade de recursos desperdiçados.

Ainda dentro dos grandes grupos relativos ao conceito *muda*, Womack e Jones (2003) vão mais longe e defendem a existência de um 8º desperdício. Este desperdício resulta da não utilização das capacidades totais dos operários, quer por limitações relacionadas com os equipamentos, quer por falta de motivação.

2.3 Metodologias

A aplicação prática da filosofia *Lean Production* é obtida através da implementação de diversas metodologias e ferramentas, de modo a melhorar os seus processos, eliminar os desperdícios e fornecer mais valor aos seus clientes (Maia *et al.*, 2011). Esta filosofia considera que mais importante que conhecer os métodos, é adequá-los a cada organização. Nas secções seguintes, são apresentadas as diversas técnicas que foram utilizadas neste projeto.

2.3.1 5S

Os 5S são uma das ferramentas *lean* mais utilizadas na indústria e serviços, que visa a organização, arrumação e limpeza dos locais de trabalho e toda a organização, aliando sempre o trabalho em equipa. A metodologia 5S consiste na criação de um local de trabalho limpo e

claro, para que qualquer pessoa que não trabalhe numa determinada célula consiga perceber o seu modo de funcionamento e estar apto a operar no tempo máximo de cinco minutos (Liff e Posey, 2004). Sendo a visão o principal meio de obtenção de informação do corpo humano, esta técnica privilegia a gestão visual para conseguir-se identificar, imediatamente, um erro ou defeito, por estar fora do padrão (Imai, 2012). O desenvolvimento de novos hábitos e regras de trabalho reduzem, significativamente, as avarias e as perdas de tempo em atividades usuais, tendo sempre em vista os seguintes objetivos:

- Melhorar a qualidade dos produtos;
- Melhorar o ambiente de trabalho e de atendimento ao cliente;
- Melhorar a componente dos recursos humanos;
- Educar para a simplicidade de atos e ações;
- Melhorar a gestão de recursos disponíveis;
- Diminuir os desperdícios;
- Otimizar o espaço físico;
- Reduzir e prevenir acidentes.

A implementação desta ferramenta está dividida em cinco etapas que estão na origem da sua designação, dado que se tratam de 5 palavras japonesas começadas pela letra “s”: *Seiri*; *Seiton*; *Seiso*; *Seiketsu* e *Shitsuke*, as quais significam triagem, organização, limpeza, normalização e disciplina, respetivamente (Sarkar, 2006). A Figura 7 ilustra essas cinco etapas:



Figura 7 - Metodologia 5S.

1. Triagem (*Seiri*) – separar tudo aquilo que é, ou não, necessário para o bom funcionamento da célula de trabalho, considerando a frequência de utilização. O que não for necessário deve ser colocado num local temporário para avaliar a sua utilidade no futuro.

2. Organização (*Seiton*) – organizar todos os artigos necessários no lugar correto e tornar o posto de trabalho funcional. Deve-se definir o local para cada coisa para que seja acessível de forma visual e intuitiva, tendo sempre em conta a frequência de utilização referida no ponto 1. Caso o ponto 1 não seja aplicado e existam objetos desnecessários, o impacto da organização será substancialmente menor (Hirano, 1996).
3. Limpeza (*Seiso*) – a qualidade pode ser obtida através da limpeza e manutenção do local de trabalho. Inicialmente, é essencial que os trabalhadores compreendam que o mais importante não é o ato de limpar, mas sim o ato de não sujar. É de realçar a importância da limpeza, pois esta permite detetar problemas antes destes acontecerem ou se agravarem, prevenindo avarias e falhas dos equipamentos de trabalho (Cachim, 2018).
4. Normalização (*Seiketsu*) – através da criação de procedimentos e planeamento, esta etapa tem como função cimentar as etapas anteriores, estabelecendo regras visuais simples e áreas específicas para cada função, de forma a diminuir a probabilidade de erro e o tempo perdido à procura das coisas.
5. Disciplina (*Shitsuke*) – tornar os 5S numa rotina diária e sistemática, procurando sempre melhorar o processo produtivo. É considerada a etapa de maior dificuldade e também a de maior importância, uma vez que permite garantir que os ganhos provenientes da implementação desta ferramenta se mantenham no futuro (C.T.C.P., 2011).

Considerada uma prática de qualidade simples, os 5S são um ponto de partida para qualquer empresa que queira ser reconhecida como uma produtora responsável.

2.3.2 Plan-Do-Check-Act (PDCA)

O ciclo PDCA é um processo iterativo de resolução de problemas focado na melhoria contínua. Idealizado por Walter Shewart em 1920, só nos anos 50, graças a W. Edwards Deming, é que começou a ser reconhecido aquando da implementação na *Toyota* (Monden, 1998).

O ciclo PDCA é mais do que uma ferramenta, é um conceito de melhoria contínua adaptado à cultura organizacional de cada empresa. Contudo, quando chega a parte de implementação no terreno, grande parte das empresas começam a ter dificuldades, pois necessita de um certo nível de formalidade, rigor e tempo para surtir o efeito desejado.

Este ciclo é constituído por quatro fases:

- Planear (*Plan*) – inicialmente é preciso identificar o problema, observar, recolher os dados e tratá-los corretamente de modo a estruturar um plano de ações com objetivos concretos e um horizonte temporal claro. É então de prever que esta seja a fase que, na maioria dos casos, ocupará mais tempo (cerca de 80%);
- Executar (*Do*) – realizar o projeto conforme o plano de ações traçado na primeira etapa;
- Verificar (*Check*) – analisar os resultados para validar, ou não, o cumprimento dos objetivos traçados inicialmente;
- Agir (*Act*) – atuar de acordo com o ponto anterior. No caso de não serem atingidos os objetivos propostos, é necessário detetar o que falhou e perceber se é corrigível ou se

será necessário recomeçar. Caso contrário, se forem cumpridos os objetivos, deve-se padronizar o processo e proceder à monitorização do mesmo.

A ferramenta PDCA está esquematicamente representada na Figura 8. É facilmente perceptível que a ferramenta é um ciclo “interminável”, sendo sempre possível encontrar alterações e melhorias a estudar.

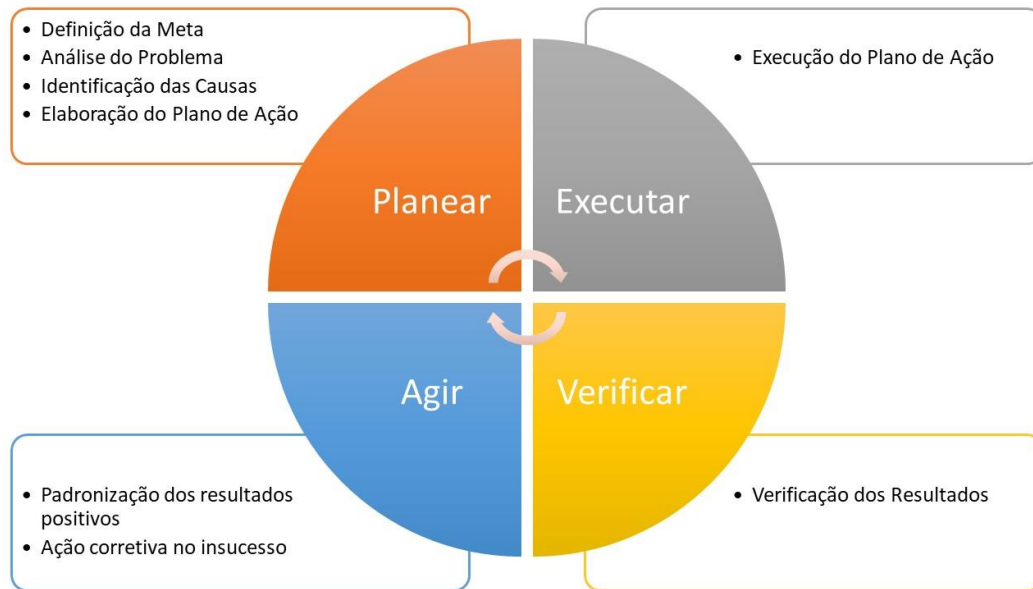


Figura 8 - Ciclo PDCA (Adaptado Ferreira, 2018).

Pela descrição de cada fase, conclui-se que, numa fase inicial, qualquer método introduzido será instável, daí ser considerado um processo repetitivo e iterativo, pois, sempre que é efetuada uma alteração, esta poderá de seguida ser alvo de novas melhorias (Pinto, 2014).

2.3.3 Estudo dos tempos e métodos

O estudo dos métodos e dos tempos é uma ferramenta *lean* que desempenha um papel fundamental no processo de melhoria contínua, uma vez que permite quantificar os processos ao longo da linha de produção. Este estudo tem como objetivo determinar o tempo gasto por um operador qualificado e devidamente treinado a executar uma tarefa a um ritmo normal, de modo a poder eliminar ou corrigir todas as operações que não acrescentem valor, permitindo assim aprimorar os procedimentos e diminuir o tempo do processo. (Vieira, 2010).

O estudo dos métodos é composto por duas abordagens:

- Análise visual – permite compreender o funcionamento da fábrica;
- Entrevistas informais – facilitam a compreensão da dinâmica de cada célula de trabalho de forma pormenorizada.

Relativamente ao estudo dos tempos, podem ser estudados através de três conceitos:

- Medições:
 - Cronometragem – medição de tempo continua;
 - Observações instantâneas – medição de alguns tempos específicos.
- Estimativas;
- Histórico de Tempos (Vieira, 2010).

Conseguindo quantificar o estado produtivo atual, é possível analisar e tomar medidas de modo a desenvolver os processos e consequentemente aumentar a sua produtividade.

2.3.4 Single Minute Exchange of Dies (SMED)

A tendência atual dos negócios exige uma necessidade de dar resposta a um mercado que requer maior variedade de produtos, mas em que o ciclo de vida destes é mais reduzido. Esta flexibilidade exigida às empresas, aliada a tempos de entrega cada vez mais curtos e à produção de lotes mais pequenos, gerou a necessidade de desenvolver um método que diminuísse o tempo de mudança de ferramenta (*setup*) de forma a tornar o processo mais rentável. Entende-se por tempo de mudança de ferramenta, o tempo decorrido entre a produção da última unidade que cumpre os requisitos e a primeira unidade conforme produzida na nova série (Coimbra, 2013).

Neste contexto, em 1985, Shigeo Shingo apresentou uma metodologia, denominada *Single Minute Exchange of Dies*, um conjunto de técnicas que melhoram o processo de mudança de ferramenta permitindo ganhos significativos de “tempo de máquina a produzir”. Idealmente, o objetivo temporal de mudança seria sempre inferior a dez minutos, mas mesmo quando não se atinge a marca inferior a dez minutos, reduções drásticas do tempo de *setup* são normalmente conseguidas (Shingo, 1985).

Shingo (1985) concluiu que o futuro passaria por possuir um leque de diversos produtos, de qualidade elevada, a um preço competitivo e com um tempo de entrega eficaz. Para atingir esta flexibilidade, percebeu que precisava de ter tempos de mudança de ferramenta bastante curtos, de forma a reduzir os tempos não produtivos e o tamanho do lote, o que consequentemente iria permitir aumentar a variedade de oferta.

Assim, o processo baseia-se em manter a máquina em produção o maior tempo possível, tendo como base a preparação atempada da mudança de ferramenta. Para isso, Shingo começa por dividir as operações envolvidas na troca de ferramentas em dois grupos:

- Operações Internas – são aquelas que obrigam à paragem da máquina, quebrando assim o ritmo de produção;
- Operações Externas – são aquelas realizadas com a máquina a produzir.

Na prática, o método consiste em cinco etapas:

1. Estudo da situação inicial – analisar ao detalhe o método atual juntamente com os operadores, recorrendo para isso a medição de tempos e filmagens em vídeo.
2. Separar as operações internas das operações externas – através dos tempos e da análise dos resultados obtidos, classificar cada uma das tarefas em operação interna ou externa. Distinguir as operações externas e juntá-las no início ou fim do processo executando-as com o equipamento em funcionamento, o que irá reduzir significativamente o tempo dedicado a operações internas. As operações internas devem ser organizadas num novo procedimento e implementadas pelas organizações. Esta separação de operações é um marco crucial para o bom funcionamento desta ferramenta (Shingo, 1985).
3. Converter operações internas em externas – analisar ao detalhe as verdadeiras funções das operações internas de modo a perceber se estão a ser erradamente consideradas como internas. Encontrar formas de converter operações internas em operações externas.

4. Reduzir o tempo das operações internas – procurar formas que permitam realizar as operações internas em menos tempo. Um exemplo clássico é a uniformização da geometria dos moldes e dos seus apertos (Coimbra, 2013).
5. Reduzir o tempo das operações externas – encontrar métodos que permitam realizar as operações externas em menos tempo. Um exemplo simples passa pelo armazenar os moldes necessários perto do equipamento (Coimbra, 2013).

A Figura 9 resume a aplicação do método, de acordo com as etapas enunciadas anteriormente, mostrando as melhorias temporais obtidas.

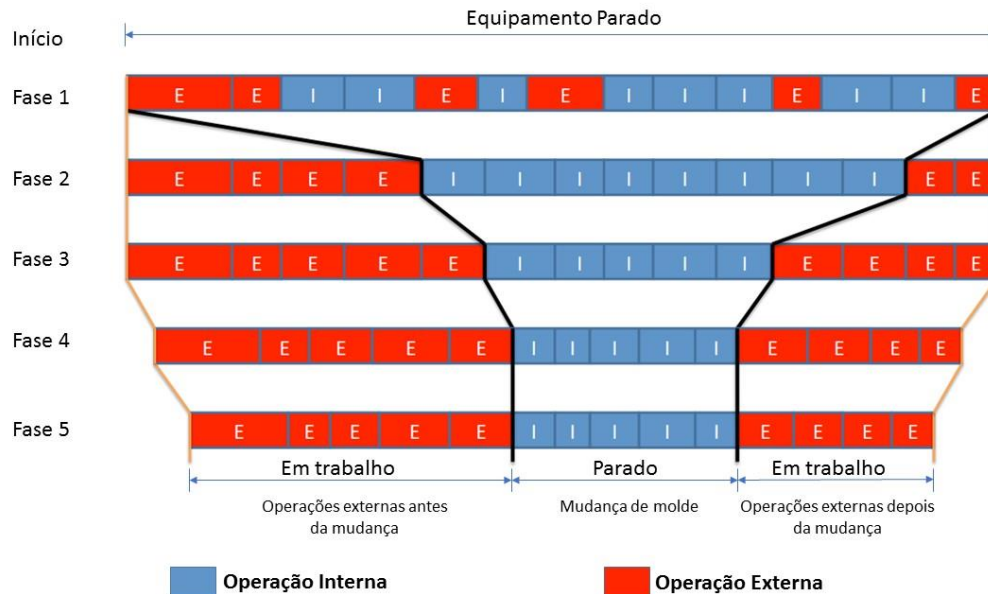


Figura 9 - Ilustração da aplicação das diferentes fases do SMED (Adaptado Coimbra, 2013).

2.3.5 Total Productive Maintenance (TPM)

Com o objetivo de garantir a manutenção dos equipamentos, a ferramenta *Total Productive Maintenance* (TPM) é considerada a segunda pedra basilar da metodologia *lean*. Os equipamentos são parte integrante de qualquer indústria e a sua fiabilidade é fundamental para uma implementação da metodologia *lean*. Com os níveis de inventário reduzidos e ajustados, o tempo de operação das máquinas assume um papel mais importante porque, em caso de erro ou avaria, já não existirá um “inventário de segurança” para compensar a avaria de uma máquina, provocando assim uma paragem na linha de produção (Feld, 2001).

Em termos práticos, a TPM assenta numa base sólida de 5S, uma vez que num ambiente limpo e bem organizado torna-se mais fácil detetar problemas como as fugas de fluidos, derramamentos e problemas de desgaste. Só depois se pode pensar em construir os oito pilares que compõe a metodologia TPM:

- Manutenção Autónoma – coloca a responsabilidade no operador nas tarefas de menor dimensão, tais como limpeza, lubrificação e inspeção. Cada um deve cuidar do posto de trabalho como se da sua casa se tratasse;
- Manutenção Planeada – agendamento de ações de manutenção tendo por base cálculos estatísticos acerca do período entre falhas de equipamentos;

- Manutenção da Qualidade – analisar a raiz dos problemas recorrentes de modo a desenhar soluções de deteção e prevenção;
- Melhoria Focada – criar grupos de trabalho que combinem diferentes talentos para identificar continuamente melhorias na eliminação de desperdícios e eficácia dos equipamentos;
- Gestão Inicial – usar o conhecimento obtido de forma empírica para o desenvolvimento e conceção de novos equipamentos;
- Treino e Educação – dotar toda a estrutura empresarial de conhecimento necessário para preencher as lacunas de conhecimento acerca dos objetivos do TPM.
- Segurança, Saúde e Ambiente – manter um ambiente de trabalho seguro e saudável eliminando potenciais riscos;
- TPM na Administração – aplicar técnicas de TPM não só no chão de fábrica, mas também na parte administrativa (LeanProduction, 2018).

Em resumo, a manutenção deixa de ser considerada uma atividade sem fins lucrativos. O tempo de paragem está programado e, em alguns casos, é parte do plano de produção.

3 Enquadramento do Ambiente Empresarial

Neste capítulo será feita a descrição sumária da fábrica onde decorreu o projeto e a caracterização da célula de produção onde o trabalho, que deu origem a esta dissertação, foi realizado. Será ainda apresentado um diagnóstico relativo à situação inicial, de forma a identificar oportunidades de melhoria, relativamente aos processos de movimentação e transformação das ferramentas.

3.1 Caracterização geral da fábrica

A fábrica das ferramentas é uma unidade industrial composta por nove áreas onde se produzem dois grandes tipos de ferramentas:

- Ferramentas especiais – correspondem a 70% da produção e são produzidas à medida do cliente, pelo que apresentam referências únicas;
- Ferramentas *standard* – correspondem a 30% da produção e são ferramentas de catálogo produzidas para stock, nos casos de rotatividade elevada, ou produzidas a pedido, nos casos de baixa rotatividade.

Existem duas grandes famílias de produtos: ferramentas de aperto mecânico e ferramentas de construção soldada. As ferramentas de construção soldada, podem ser ferramentas soldadas em diamante (PCD) ou ferramentas soldadas em metal duro (HW).

De forma a compreender a dinâmica da fábrica, torna-se necessário fazer uma breve abordagem às rotas de produção, associadas a estas famílias de produtos. Importa notar que cada família de produtos tem uma rota de produção fixa e bem definida.

Rota das ferramentas de aperto mecânico:

1. Serrote;
2. Torno;
3. Fresagem;
4. Oxidação;
5. Montagem;
6. Inspeção.

Rota das ferramentas de construção soldada:

1. Serrote;
2. Torno;
3. Fresagem;
4. Soldadura;

5. Retificação;
6. Oxidação/niquelagem;
7. Afiamento/perfilagem;
8. Montagem;
9. Inspeção.

No serrote a matéria prima (aço ou alumínio), chega sob a forma de varão e é cortado de acordo com a espessura da peça a produzir. No torno são maquinados os contornos cilíndricos da peça. Na fresagem é maquinado o contorno final da peça, conforme especificado no desenho técnico, pode ainda ser feito um escatel em certas peças. Na soldadura são soldados os cortantes, podendo ser em diamante ou metal duro, consoante as especificações do cliente. Na retificação é removida uma fina camada de material, de forma a deixar a peça com as medidas e tolerâncias finais pretendidas. Na oxidação as peças obtêm uma fina camada superficial negra que confere proteção à peça. No afiamento, os cortantes soldados anteriormente, são afiados e a sua superfície fica pronta a desempenhar a função de corte. Na montagem, são equilibradas as ferramentas e montados alguns componentes restantes. Por fim, na inspeção, é gravado a laser a referencia da peça e a marca da empresa, assim como, realizada uma inspeção visual final.

3.2 Caracterização da Célula de Fresagem

Inserida na zona da fábrica dos Centros de Maquinagem (células de torno e fresagem), a célula de fresagem, onde foi desenvolvido o trabalho que deu origem a esta dissertação, é considerada o coração da fábrica, pois alimenta todas as outras seções e adiciona grande valor ao produto. A fresagem é um processo de remoção de material que, através de sucessivas repetições, vai conferindo a forma pretendida à ferramenta. Este processo acontece numa fresadora e ocorre graças à combinação de dois movimentos, o da cabeça da máquina e o movimento da mesa.

Composta por cinco fresadoras CNC de cinco eixos cada, denominadas CM-0004, CM-0005, CM-0010, CM-0013, CM-0017 (Figura 10) a célula de fresagem tem ainda uma pequena zona de fresagem manual, operada apenas por um colaborador, em turno normal (7h:30m-16h:40m). Na fresagem manual são feitos os escatéis (tema a abordar no capítulo 3.7 – página 25), correções de ferramentas e ainda a operação de desbaste. A operação de desbaste apenas é realizada na fresagem manual em casos especiais, de modo a libertar alguma carga das máquinas CNC. Além disso, existe ainda outra máquina a considerar que, apesar de estar em fase de testes, realiza a operação de fresagem e torno de uma só vez. Esta máquina é designada por CTX e, mesmo não tendo sido tomadas ações relativamente a ela, a sua produção diária é contabilizada na célula em estudo.



Figura 10 - Centro de Maquinagem CM-0017.

As cinco fresadoras CNC trabalham 5 dias por semana e são operadas por 6 funcionários. Estes trabalham em duplas organizadas em três turnos de oito horas, começando a laborar às 6h de segunda feira. No caso do CTX, este é operado apenas por dois colaboradores que trabalham em turnos diurnos, alternados.

3.3 Chegada de Material

Quando é colocada uma encomenda ao departamento comercial e esta é posta em produção, é-lhe sempre associada uma caixa com um número e uma ordem de fabrico (OF), e que acompanha sempre a caixa. Na OF constam informações cruciais para que a ferramenta percorra todas as células necessárias, no tempo certo, de modo a chegar como pretendida ao cliente. Todas as OF são acompanhadas pelo desenho técnico da ferramenta, a quantidade, a data de lançamento e o cliente. As ferramentas são transportadas nas caixas que, além de numeradas, também têm um código de barras associado que é utilizado para assinalar a saída de cada setor. Quando uma ferramenta termina todas as operações numa célula, a sua caixa passa no leitor de código de barras que lê o código e regista no sistema de informação, o *Autoflow*. Este software auxilia o controlo da produção, armazenando toda a informação relativa à posição de cada caixa, assim como os seus prazos e prioridades.

Numa cota elevada, cerca de 5 metros em relação ao pavimento, existe um sistema de tapetes rolantes destinados ao transporte automático das caixas entre células. No entanto, devido a mudanças de *layout* efetuadas em toda a fábrica, a célula de fresagem não possui uma torre de acesso ao tapete (tem a função de elevar as caixas até ao nível do tapete), pelo que a chegada e saída de material são feitas com recurso a um carrinho de mão, específico para o transporte das caixas, estando totalmente dependente da intervenção dos operadores.

Na célula de fresagem, as caixas chegam provenientes do torno, seção anterior, e são colocadas pelo operador na entrada da célula, conforme mostra a Figura 11. Um problema frequentemente detetado é a chegada das caixas com atraso relativamente ao previsto. As causas apontadas para estes atrasos são:

- Elevada carga no setor anterior;
- Retrabalho devido à não qualidade;
- Especificidade de algumas ferramentas só poderem ser produzidas em determinadas máquinas;
- Avarias.



Figura 11 - Zona entrada de material.

Toda a fábrica se rege pela regra de produzir de acordo com a data de lançamento da OF (a primeira a entrar em produção será a primeira a sair). Esta informação cronológica é apresentada num ecrã, presente em cada célula, e seguida pelos operadores. Foram detetados atrasos relacionados com o departamento comercial e com paragens determinadas pelo cliente para fazer alterações ao desenho ou especificações, mas ambos estavam fora do âmbito deste projeto, pelo que não foram estudados.

1ª Oportunidade de melhoria: a chegada de material é feita de forma aleatória e desordeira, o que gera entropia na organização de célula, uma vez que as caixas são agrupadas num monte onde se misturam diferentes tipos de peças, com prazos de entrega bastante distintos. Este é um dos fatores que geram atrasos.

3.4 Procedimento Operativo

Os produtos comercializados pela empresa, onde foi realizado o projeto, são ferramentas de corte que, para serem fabricadas, recorrem a processos de maquinagem onde são utilizadas também ferramentas de corte. Por este motivo é necessário distinguir umas das outras. Assim, o produto comercializado é designado por peça, enquanto que as ferramentas usadas para maquinar as peças são designadas por ferramentas.

Depois da chegada de material à célula o procedimento de produção de uma peça é apresentado seguidamente. O operador com mais experiência do setor é responsável por inspecionar as caixas deixadas à entrada da célula de trabalho e separá-las pelas cinco máquinas, deixando-as num tapete rolante colocado ao lado de cada máquina, conforme mostra a Figura 12.



Figura 12 - Tapete rolante.

Cada tapete tem uma ligeira inclinação de modo a que a primeira caixa seja sempre a que lá foi colocada há mais tempo. De cada vez que um operador seleciona uma nova caixa, segue o seguinte procedimento:

- Analisar o desenho - o operador retira a OF e analisa o desenho de modo a ter uma ideia inicial das operações que vai precisar de fazer;
- Transferir o programa do computador para a máquina - através da referência da peça, verifica se já existe programa para a realizar, transferindo-o do servidor para a máquina (o programa CNC é realizado por um programador alocado no departamento de desenho e não pelo operador);

- Executar a verificação das ferramentas necessárias e se estas já estão na máquina - verificar a posição destas na máquina em relação à posição que o programador escolheu quando criou o programa e fazer as alterações necessárias (a máquina tem diversas posições de ferramentas e é preciso colocar a ferramenta certa no local definido pelo programador). Caso alguma ferramenta não esteja na máquina:
 - Procurar a ferramenta necessária;
 - Apertar a ferramenta num porta-ferramentas (sistema que fixa a ferramenta à máquina);
 - Calibrar a ferramenta (operação de medição da sua altura exata);
 - Retirar uma das ferramentas da máquina para libertar uma posição no *magazine* da máquina (componente da máquina que suporta as diversas ferramentas que vão maquinar a peça) e registar a sua calibração;
 - Colocar a ferramenta nova na máquina, alterar a sua posição no programa e a sua calibração, de forma a que a máquina possa calcular a sua posição de trabalho.
- Preparar o sistema de aperto da peça ou árvore (componente onde é apertada a peça a maquinar e que permite a rápida fixação da peça à máquina);
- Medir o zero da peça - colocar um aperto padrão na máquina com uma medida fixa e calibrada, que permitirá que a máquina obtenha a posição exata da peça para saber onde começar a maquinar;
- Colocar a máquina em funcionamento - retirar a peça e controlar se as dimensões e especificações estão conforme o pedido;
- Rebarbar a ferramenta - todas as ferramentas saem com fragmentos de material saliente nas arestas que têm de ser retiradas com recurso a limas.

Visto que é um processo muito complexo e com grande variabilidade, torna-se crucial entender como se realiza toda a dinâmica de produção de uma peça na célula em estudo. Foi estudada uma máquina, analisando os 3 operadores que trabalham com a máquina, em períodos diferentes e registadas todas as operações que foram realizadas para produzir uma determinada peça

Como a máquina CM-0005 é a que apresenta maior variabilidade de peças (produz maior número de referências de peças diferentes) e onde os processos de fabrico são mais complexos, considerou-se que esta seria a máquina piloto para a implementação de melhorias. Assim, obtendo melhorias na máquina mais complexa da célula, seria fácil de transpor as alterações para as outras máquinas.

3.4.1 Estudo das Operações

De forma a compreender melhor a situação inicial, foram medidos os tempos das operações e os tempos de paragem para a execução de diversas ferramentas. Registaram-se os motivos de todas as paragens e analisaram-se cerca de 1440 minutos de trabalho. A título de exemplo, na Tabela 1 é apresentado um registo de produção onde é possível ver a quantidade de operações necessárias para produzir uma peça específica e a diversidade de combinações de operações que podem existir para as variadas ferramentas produzidas ao longo de um dia de trabalho.

Tabela 1 - Exemplo do procedimento de execução de uma peça.

Descrição	Tempo (mm:ss)	Operação	Setup
Apertar peça na máquina	00:15	Por/tirar peça da máquina	Externo
Comparar	01:41	Comparar	Interno
Tirar o zero à peça	01:14	Tirar zero	Interno
Rever ferramentas no programa	00:24	Verificar Ferramentas	Externo
Ir à zoller calibrar	00:33	Calibrar Ferramentas	Externo
Por na máquina	00:10	Por Ferramenta na máquina	Interno
Alterar ferramenta na máquina	02:02	Por Ferramenta na máquina	Interno
Revisão final do programa	00:40	Verificar Ferramentas	Externo
Escarear noutra máquina	00:30	Outra máquina	Externo
Operação de medição	01:28	Medir peça	Interno
Procurar lima + limar arestas	00:30	Procurar Ferramentas	Externo
Retirar peça da máquina	00:10	Por/tirar peça da máquina	Interno
Fazer rosca manualmente	02:40	Roscar manual	Externo
Aparafusar lâminas	00:56	Medir peça	Externo
Ir à zoller verificar	00:42	Medir peça	Externo
Vai à máquina corrigir diâmetro	00:40	Por/tirar peça da máquina	Interno
Operador a tratar do CM4	02:52	Outra máquina	Externo
Retirar peça da máquina	00:20	Por/tirar peça da máquina	Interno
Operação de medição novamente	00:16	Medir peça	Externo
Ir à zoller verificar	00:31	Medir peça	Externo
Retirar peça do aperto	00:15	Apertar/retirar peças no aperto	Externo

Depois de recolhidos os dados, verificou-se que muitas “descrições” eram repetidas ao longo do processo e surgiu a necessidade de as agrupar por “operação” de modo a somar os tempos correspondentes e perceber onde se estava a perder mais tempo. Assim, conforme se pode verificar na Tabela 2, foram agrupadas em dezassete operações principais que englobam a grande maioria dos tempos de paragem.

Tabela 2 - Tempos de paragem de máquina na situação inicial.

Operação	Soma de tempo (mm:ss)	Percentagem	Setup
Outra máquina	105:47	18,53%	Externo
Rebarbar	71:36	12,54%	Externo
Apertar/retirar peças do aperto	52:02	9,11%	Externo
Medir peça	40:46	7,14%	Interno
Verificar Ferramentas na máquina	30:45	5,39%	Externo
Procurar Ferramentas	27:52	4,88%	Externo
Tirar zero	25:52	4,53%	Interno
Colocar/retirar peça da máquina	22:48	3,99%	Interno
Calibrar Ferramentas	22:44	3,98%	Externo
Outros	19:52	3,48%	Externo
Comparar	17:53	3,13%	Interno
Procurar apertos peça	16:46	2,94%	Externo
Procurar programa	12:42	2,22%	Externo
Chamar Programa	10:10	1,78%	Interno
Colocar Ferramenta na máquina	10:03	1,76%	Interno
Problema de Programação	10:01	1,75%	Externo

A Tabela 2 é uma representação parcial da tabela apresentada no anexo A, onde constam todos os tempos de paragem durante o processo de medição, totalizando 571 minutos de paragem em 1440 minutos medidos, ou seja, cerca de 40% de tempo sem produzir.

Uma vez que todas as operações listadas foram realizadas com a máquina parada, a cada uma delas foi associado um diferente tipo de *setup*. As operações que teriam obrigatoriamente de ser realizadas com a máquina parada foram classificadas de internas, enquanto que as que poderiam ser realizadas com a máquina em funcionamento foram classificadas de externas. Torna-se assim interessante fazer o somatório de tempo em que a máquina esteve parada e separar pelos dois diferentes tipos de *setup*, conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Divisão de tempos por tipo de *setup* na situação inicial.

Setup	Soma tempo parada (mm:ss)	Percentual
Externo	409:25	71,70%
Interno	161:36	28,30%
Total Geral	571:01	100,00%

Conclui-se que, dos 570 minutos perdidos em paragens de máquina, 70% deste desperdício diz respeito a operações que poderiam ser realizadas com a máquina em trabalho.

2ª Oportunidade de Melhoria: Verificou-se que os tempos improdutivos eram elevados. Com o elevado desperdício de tempo de máquina, usado para realizar operações externas, terá de ser estudado um mecanismo para reduzi-lo. Este estudo tem como foco diminuir o tempo de operações como por exemplo, o tempo despendido na procura de ferramentas, porta-ferramentas e respetiva calibração

3ª Oportunidade de Melhoria: Reduzir ou, se possível, eliminar a operação de “Comparar”, explicada mais a frente no capítulo 4.3 (página 39).

Após saírem da máquina, todas as peças têm de passar pela operação de rebarbagem. Esta operação serve para eliminar as arestas vivas e os fragmentos de material que nelas ficam presos, conforme se mostra na Figura 13, tendo como objetivo final deixar um acabamento arredondado também conhecido por *fillet*.

Esta operação não é executada após a peça sair da máquina. As peças são colocadas novamente nas caixas e estas são empilhadas perto das mesas onde a rebarbagem é realizada. Aqui, ficam a aguardar que o operador da CNC tenha tempo livre para executar a rebarbagem. Isto cria mais uma fila de espera e um novo desperdício.

Verificou-se que a pilha de caixas é, frequentemente, demasiado grande, ao ponto de faltar trabalho na célula seguinte e de ser necessário colocar um operador de outra célula a rebarbar provisoriamente.

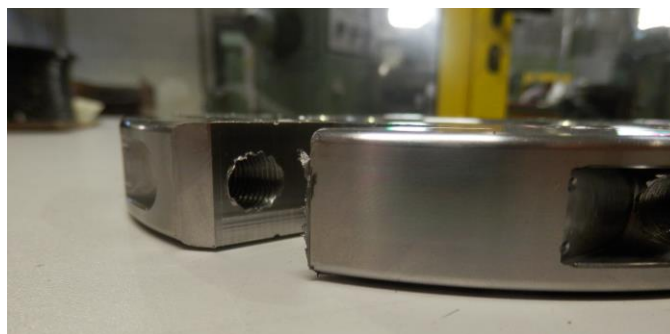


Figura 13 - Exemplo de uma peça com rebarba.

4ª Oportunidade de Melhoria: Reduzir o tempo despendido a realizar a operação de rebarbagem e eliminar o desperdício associado ao material em espera para esta operação.

3.5 Controlo da Produção

No início deste projeto a falta de dados sobre o estado de cada máquina (saber se está a trabalhar, em espera ou em erro) era elevada. Com apenas um diretor de operações e um supervisor de produção, a tarefa de controlar todas as máquinas da fábrica era difícil. Estes não tinham acesso a informações como o tempo operacional de uma máquina durante o dia anterior. Foi necessário obter dados sobre as máquinas, entre os quais, a sua disponibilidade real. A empresa já dispunha de um software de controlo da atividade das máquinas, o *Werma Win*, mas este não era usado na célula em estudo, pelo facto do projeto não ter sido completamente implementado. Consequentemente, não chegou a ser testado e, por isso, os seus dados não eram totalmente credíveis. Este software registava o estado de cada máquina e tinha associado um dispositivo visual que emitia um sinal luminoso, permitindo saber o estado atual de cada máquina.

5ª Oportunidade de Melhoria: Analisar os problemas do software *Werma Win* e fazer um estudo dos sinais visuais emitidos, de modo a verificar se o sinal emitido correspondia ao estado atual da máquina.

3.5.1 *Kaizen* Diário

Na célula de fresagem existe um quadro *Kaizen* que tem como objetivo registar a produção diária, de forma a transmitir aos operadores informação sobre o número de peças produzidas no dia anterior e o tempo médio que estas passaram na célula (*lead time*). No início deste projeto, as informações constantes no quadro encontravam-se, habitualmente, desatualizadas.

6ª Oportunidade de Melhoria: retomar as reuniões diárias com os operadores, de forma a atualizar os quadros *Kaizen* e, simultaneamente, dar *feedback* do trabalho realizado. Criar novos indicadores.

3.5.2 Work in Progress (WIP)

Inicialmente, graças aos dados obtidos pelo sistema de informação *Autoflow*, que, como referido anteriormente, regista a posição de cada caixa ao longo do fluxo produtivo, foi perceptível que a célula em estudo tinha um número de peças em processo de produção, WIP, muito superior a todas as outras células da fábrica.

Com uma média de tempo de máquina, por peça, a rondar os trinta minutos, acrescentando a operação de rebarbagem, as operações de medição e a operação de escatagem (operação abordada mais à frente no capítulo 3.7 – página 25), foi definida uma meta de produção diária de 120 peças. Este número foi calculado considerando que, em média, cada peça demora uma hora a ser produzida na sua totalidade e que as cinco máquinas laboram as vinte e quatro horas, sem avarias ou paragens imprevistas. Importa referir que o CTX, apesar de não ser estudado por estar em testes, a sua produção também é contabilizada na produção diária da célula de fresagem. Assim, como este trabalha em dois turnos e os tempos de *setup* são consideravelmente menores, estava definida uma meta de produção diária de 40 peças. Totalizando, o objetivo de toda a célula está fixado nas 160 peças.

O *lead time* da célula já estava definido pela empresa tendo sido imposta a meta de dois dias, ou seja, cada peça teria no máximo dois dias para realizar as operações de fresagem e avançar para a próxima célula.

Assim, com um WIP de 1000 peças e com um objetivo de produção de 160 peças, seriam precisos cerca de seis dias até ser produzida a última peça, o que iria tornar impossível o cumprimento do *lead time* e geraria uma consequente falha de prazos.

Concluindo, devido à enorme carga de peças acumuladas à entrada da célula, comparativamente a outras, associada à incapacidade de resposta e ao facto da célula já não ter flexibilidade em termos horários (já estava a laborar 24 horas por dia), constatou-se que esta era o gargalo da produção. De forma a comprovar isto mesmo, foi feito, para todas as células, o rácio WIP/capacidade produtiva e o da célula em estudo era o mais elevado.

7ª Oportunidade de Melhoria: Tendo em vista um controlo mais preciso da produção, realizar um estudo de melhorias, no sentido de reduzir o WIP, e analisar a exequibilidade do objetivo diário de produção.

3.6 Atrasos de Produção

Toda a fábrica trabalha segundo uma lógica de *First In First Out* (FIFO), uma heurística de sequenciamento de trabalho em que a primeira peça a chegar à célula será a primeira a ser produzida e, por isso, a primeira a seguir para a célula seguinte.

A chegada de caixas com um atraso já acumulado em células anteriores era muito frequente. Devido à elevada quantidade de caixas na entrada da célula em estudo, as que chegavam acabavam por ficar misturadas com as que já lá estavam, independentemente de terem um prazo de entrega maior ou menor.

Pela fábrica circulam três tipos de caixas:

- Caixas Normais – com o prazo de 15 dias úteis definido normalmente e seguem o percurso estipulado no início;
- Caixas com mica vermelha – encomendas com prazo inferior aos 15 dias úteis e, por isso, têm prioridade para serem produzidas em cada célula relativamente às caixas normais;
- Caixas vermelhas – ao contrário da cor cinzenta escolhida para as caixas normais, estas têm a cor vermelha e são usadas para identificar as reclamações, tendo assim prioridade sobre todas as outras.

Três situações ocorriam com alguma frequência:

- As caixas com prioridade eram depositadas à entrada da célula pelos operadores da célula anterior e acabavam por ficar esquecidas no enorme conjunto de caixas que se juntava;
- A visita de um engenheiro de produção ou até mesmo do diretor geral, para entregar uma lista de caixas com maior urgência ou a pedir que determinada caixa fosse executada no momento;
- A paragem de produção de uma dada peça, quer por um erro no programa, por falta de material, por não conformidade ou por pedido do comercial, levando ao esquecimento da caixa. Muitas vezes o engenheiro de produção não sabia desta paragem que só era descoberta quando a caixa já estava no limite do prazo de entrega.

Assim, ao invés do planeamento da fábrica ser feito numa lógica de FIFO, este tornava-se numa mistura complexa que conjuga FIFO, gestão das caixas com maiores atrasos e das caixas prioritárias. Todo este jogo de prioridades criava um efeito de bola de neve, em que caixas normais que se encontravam em espera para entrarem nas máquinas viam o seu *lead time* aumentado, uma vez que seriam ultrapassadas pelas caixas prioritárias.

Todos estes fatores geravam sobrecarga de trabalho e pressão sobre os operadores, deixando-os desmotivados.

8ª Oportunidade de Melhoria: Criação de uma zona específica de espera para as caixas com prioridade e criação de uma zona de STOP (caixas com paragem de produção provisória) para que as caixas paradas não fiquem esquecidas.

3.7 Qualidade

No final da produção de cada ferramenta, esta deve ser inspecionada e medida conforme as especificações.

Acontece que, antes de serem enviadas para a próxima célula, certas peças têm de sofrer mais uma operação, a escatelagem. Esta consiste na abertura de uma ranhura que irá alojar uma chaveta para permitir que a ferramenta não rode em relação ao veio onde será fixada. O escatel é feito com recurso a uma lâmina de aço que, através de pequenos incrementos, vai removendo material até à medida pretendida, conforme se pode ver na Figura 14.

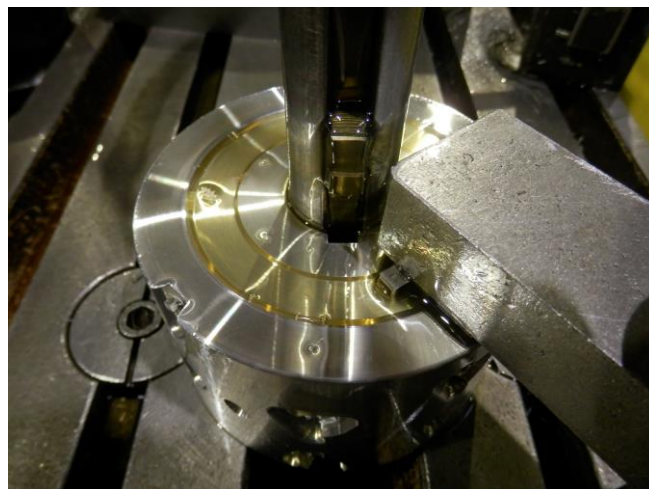


Figura 14 - Operação de Escatelagem.

Pelo facto de esta operação só se realizar em algumas peças e ser executada pelo terceiro operador da célula (responsável apenas pela fresagem manual), em alguns casos as peças seguiam para a célula seguinte sem a fresagem manual, determinada pela execução do que está especificado no respetivo desenho.

9ª Oportunidade de Melhoria: Criar método para que as caixas não avancem de célula sem a operação de escatelagem feita.

Desde o início deste projeto que a qualidade teve sempre grande destaque, pois as tolerâncias dimensionais são muito pequenas e a qualidade é uma exigência intrínseca. Assim, foi dada grande atenção às diversas “não conformidades” que foram sendo percecionadas. Duas delas

foram bastante frequentes, pelo que careciam de uma solução urgente: riscos nas peças de alumínio e imperfeições na operação de rebarbagem.

Como foi referido anteriormente, a célula trabalha com dois grandes tipos de materiais, o aço e o alumínio. O aço, devido à sua elevada resistência mecânica e baixo preço, é o mais usado nesta indústria. Este material está sujeito à ocorrência de oxidação e a sua elevada densidade faz do seu peso um entrave, em aplicações mais específicas. O alumínio é uma alternativa devido à sua resistência à oxidação, flexibilidade e a baixa densidade

O alumínio risca-se mais facilmente e, verificou-se ser frequente o aparecimento de riscos nas peças, o que desrespeita os pressupostos de qualidade. Como as peças circulam pela fábrica dentro de caixas e vão sendo fixadas, por aperto, nas máquinas das células onde são trabalhadas, não se detetou onde os danos eram provocados.

10ª Oportunidade de Melhoria: Detetar de que forma é que as ferramentas eram danificadas por riscos para eliminar esses defeitos.

O segundo tipo de não conformidade detetado ao longo de projeto, estava diretamente relacionado com o problema da rebarbagem, abordado anteriormente. Como se viu, depois das peças saírem da máquina, eram acumuladas para serem rebarbadas pelo operador que as fez quando este tivesse disponibilidade. Acontece que, na maior parte das vezes, as peças eram rebarbadas por outro operador, podendo este não pertencer à célula de fresagem. Como era uma operação desvalorizada, era frequente as peças serem enviadas para a próxima célula com várias imperfeições e, até mesmo, com apenas metade da operação realizada.

11ª Oportunidade de Melhoria: Eliminar as peças que chegavam à célula da inspeção com a operação de rebarbagem incorreta

3.8 Manutenção

Durante os quatro meses em decorreu este projeto, um problema crucial sobressaiu em relação a todos os outros, a manutenção.

As máquinas CNC são fundamentais para o funcionamento da célula e, por isso, tem de estar o máximo de tempo disponíveis e sempre nas melhores condições. Como seria de esperar, as tolerâncias dimensionais são bastante reduzidas, obrigando assim a ter as máquinas sempre alinhadas na perfeição. Acontece que, aquando do início deste projeto, algumas máquinas já apresentavam desvios de tolerâncias e a entrada de dois operadores inexperientes, propiciou o aumento destes desvios. Sendo as máquinas operadas por humanos, erros frequentes foram detetados, principalmente associados aos operadores mais novos, fazendo, numa situação extrema, com que a cabeça da máquina colidisse com a base, provocando avarias graves. Devido à severidade das avarias, associada à política de manutenção corretiva usada pela empresa, a célula de trabalho contou, durante três semanas, com a intervenção dos técnicos da marca para fazerem uma manutenção corretiva em algumas máquinas, sempre de forma alternada a não afetar muito a produção.

A política de manutenção corretiva não satisfazia as necessidades básicas para o bom funcionamento da célula, uma vez que, são máquinas com um custo por hora muito elevado e, por isso, deveriam trabalhar o maior tempo possível para atingir as metas de produtividade. A fábrica das ferramentas e a fábrica das serras partilham os serviços de manutenção. Assim, um técnico de manutenção e um auxiliar não são suficientes para cuidar dos 152 equipamentos existentes, considerados críticos ou muito críticos. As avarias eram frequentes e a falta de limpeza associada às fugas de óleo também. Esta falta de limpeza tornava impossível antever qualquer problema que pudesse surgir.

Também os fluidos de corte usados nas máquinas foram analisados, e devido às diversas fugas (Figura 15), a sua reposição era feita pelos próprios operadores. Este fluido, constituído

por água e óleo, era responsável por evitar a oxidação nas peças, pelo que, a quantidade errada de óleo poderia gerar não conformidades.

12ª Oportunidade de Melhoria: A paragem das máquinas devido a problemas associados à falta de manutenção era frequente, diminuindo a produtividade e provocando desânimo nos operadores. Criar uma estratégia de manutenção mais eficiente.



Figura 15 - Detecção de fuga do fluido de corte.

4 Apresentação das Soluções Propostas e Resultados Obtidos

Neste capítulo serão apresentadas e fundamentadas as soluções para melhoria, propostas com base nas oportunidades de melhoria identificadas no capítulo 3 (página 16). Adicionalmente, serão apresentadas e fundamentadas outras ações tomadas e os respetivos resultados.

4.1 Implementação de 5S

Após uma análise minuciosa ao intervalo de tempo em que o CM0005 esteve a ser estudado (1440 minutos), foram adaptados alguns dos princípios da metodologia SMED para tentar reduzir o tempo de máquina parada. Começou-se por classificar todos os motivos de paragem da máquina como internos e externos, tendo em conta o facto de poderem ou não ser realizados com esta em funcionamento. Grande parte deste tempo de máquina parada devia-se à falta de organização da célula, o que levou à aplicação de uma das metodologias que está na base da filosofia *lean*: o 5S.

Na sequência da **1ª oportunidade de melhoria** detetada e com base no foco em gestão visual, foi perceptível que teria de ser desenvolvido um mecanismo para rececionar o trabalho de forma organizada e conseqüente distribuição deste pelas máquinas. Esta é uma tarefa fulcral, principalmente porque determinadas peças só são passíveis de serem feitas em determinadas máquinas e por uma questão de otimização de *setup*, no que diz respeito aos conjuntos de ferramentas. Procedeu-se então à seguinte distribuição de peças por máquina:

- CM0010 – produz os cabeçais e porta-lâminas de aplainar com grandes dimensões. Como são peças onde a quantidade de material a remover é elevada e que demoram muito tempo a maquinar, são preferencialmente produzidos nesta máquina, uma vez que, é a mais demorada a realizar um *setup* completo. Nesta máquina o contraponto (mecanismo de fixação usado para reduzir as vibrações ao maquinar) está preso à mesa, o que impede de usar o quinto eixo da máquina e realizar operações axiais;
- CM0004 – produz os cabeçais e porta lâminas de menores dimensões (até $\varnothing 120$ mm) e ainda os de maiores dimensões que tem contornos axiais e que necessitam de ser maquinados com recurso a contraponto (o contraponto desta máquina é fixo à cabeça da máquina e não à mesa, permitindo o uso do quinto eixo). Realiza também as operações de furação de todas as peças produzidas no CM0010 (o contraponto desta não permite inclinar a peça 90 graus e realizar a furação nas extremidades) e ainda a operação de fazer os encaixes, local onde serão fixados os cortantes;
- CM0005 – produz todas as peças de encabadouro e, perante sobrecarga de outras máquinas, produz peças de construção soldada;
- CM0013 – produz peças de construção soldada e ajuda a máquina responsável por realizar as peças de aperto mecânico, quando a carga desta aumenta;
- CM0017 – produz peças de aperto mecânico.

Assim, depois de fazer a distribuição de peças por cada uma das máquinas, foi possível agrupá-las, de forma lógica, em três fluxos principais. Foi feita uma marcação no chão para separar as caixas com as peças de cada um, conforme se pode visualizar na Figura 16. Os três fluxos são: peças de aperto mecânico, construção soldada e encabadouro/CM0010 (peças de maiores dimensões). Devido à falta de espaço na entrada da célula, foram associadas as peças de encabadouro com as produzidas no CM0010, uma vez que são facilmente distinguíveis quando misturadas.



Figura 16 - Criação de três fluxos de trabalho.

Executada a marcação do chão, foi dada formação à equipa da célula anterior para que fossem capazes distribuir o trabalho aquando da passagem de material de uma célula para a outra.

Conforme se pode ver na Figura 17, através da criação destes três fluxos de trabalho, a chegada de material ficou muito mais organizada e funcional. Os operadores do torno vão distribuindo as caixas pela posição correta, numa lógica de FIFO, e os operadores da célula de fresagem ficam com uma imagem clara da carga de trabalho que têm e de que forma a terão de distribuir num futuro próximo. Assim, é intuitivo perceber se terão de colocar, por exemplo, o CM0013 a ajudar o CM0017 a realizar as operações nas peças de aperto mecânico por motivo de excesso de carga. A nível de resultado prático, foi demonstrada bastante satisfação por parte dos operadores por terem um ambiente mais limpo, que permite um melhor nivelamento da produção da célula e um menor desperdício associado ao tempo gasto para organizar as caixas.



Figura 17 - Antes (lado esquerdo) e depois (lado direito) da criação dos três fluxos.

Como é possível observar na Figura 18, e de modo a solucionar a **8ª Oportunidade de Melhoria**, foi também criada na entrada da célula, uma zona assinalada no chão a vermelho, para que os operadores da célula anterior coloquem as caixas vermelhas e as caixas com mica vermelha (ambas prioritárias) nessa zona e seja visualmente fácil entender que aquelas caixas serão as próximas a entrar em produção.



Figura 18 - Zona de Prioridades.

No caso das caixas que tinham STOP, era frequente estas andarem perdidas pela célula uma vez que, na falta de material, programa ou não conformidade, a caixa era posta de parte e por vezes, acabava esquecida, sendo só notada a sua falta quando o engenheiro de produção vinha à sua procura por estar fora do prazo previsto. A solução foi a criação de uma zona de destaque bem no centro da célula (Figura 19), de modo a evitar que ficassem esquecidas.



Figura 19 - Zona de caixas com STOP.

Após a conclusão da identificação das zonas de entrada de material, STOP e prioridades, foi desenvolvido um estudo exaustivo das operações. Foram estudados vários minutos de trabalho e os resultados foram apresentados anteriormente na Tabela 2 (página 21).

Através de uma ótica de SMED, todas as operações foram separadas em externas e internas consoante a sua realização com a máquina em trabalho ou não. Percebeu-se que numa fase inicial, algumas operações realizadas com a máquina parada, poderiam ser eliminadas com a implementação da metodologia 5S, surgindo a **2ª oportunidade de melhoria**.

No sentido de reduzir o tempo perdido com estas operações, foi usada a metodologia 5S e foram identificados e separados todos os itens que não eram necessários para o bom funcionamento da célula. Na Figura 20, é possível visualizar alguns objetos espalhados pela

célula que não eram usados, tais como bidões de óleo, cintas de elevação e vassouras de limpeza. Após esta remoção, a área de trabalho ficou muito mais apelativa conforme mostrado na Figura 21.



Figura 20 - Material acumulado considerado desperdício. Figura 21 - Representação do desperdício removido.

Numa fase seguinte, foi dada especial atenção às árvores utilizadas para fixar a peça à máquina. Existem dois tipos de árvores diferentes, HSK e cones ISO. Estas, idealmente, estariam alocadas por baixo de cada uma das mesas de trabalho correspondentes a cada máquina, mas tal não se verificava, pois, grande parte delas estavam misturadas, conforme se pode visualizar na Figura 22. Como apenas o CM0013 e o CM0017 usam árvores HSK, estas foram colocadas por baixo da mesa de apoio destas máquinas. Relativamente aos cones ISO, sendo apenas usados pelo CM0004 e CM0005, foram colocados por baixo da mesa de apoio destas. O CM0010 usa outro tipo de fixação.



Figura 22 - Árvores de fixação misturadas.

Com esta divisão feita, procedeu-se a uma distinção mais refinada. Assim, fez-se uma nova separação, desta vez através da dimensão de cada árvore, pois existem as de 10 mm, 30 mm e 50 mm de altura. A opção sobre que dimensão de árvore utilizar, varia com a espessura da peça que vai ser maquinada e depende, também, diretamente da quantidade de anilhas que o programador usou ao criar o programa.

Por fim, realizou-se uma separação pelo diâmetro de cada árvore. Existem diâmetros para todo o tipo de peças e a escolha de qual usar recai sempre sobre o diâmetro do furo da peça a utilizar. Importa notar que algumas peças vêm da célula do torno com mais material no furo pois, a operação de fresagem cria, por vezes, empeno no furo. Nestes casos, são deixados 0.15mm de material a mais e no final da operação da fresagem o furo será retificado para ficar na medida pretendida.

Toda esta diversidade de árvores obriga a realizar uma separação, não só pelo tipo e altura, mas também pelo diâmetro do furo. É necessária uma especial atenção para deixar os diâmetros especiais ao lado dos normais (por exemplo, para a árvore $\varnothing 50$ mm existe uma com $\varnothing 49.85$ mm que deve ser colocada junto).

Após alocadas à sua posição fixa, estas foram etiquetadas consoante as especificações. Isto permite ganhar bastante tempo, uma vez que, o operador sabe qual é a localização exata de cada sistema de aperto. Na Figura 23 pode observar-se a mudança realizada.



Figura 23 - Antes (lado esquerdo) e depois (lado direito) da organização das árvores.

4.1.1 Ferramentas

Ainda no seguimento da metodologia 5S, foi necessário solucionar outro problema: a organização das ferramentas usadas para maquinar as peças. Como seria de esperar, são usadas dezenas de ferramentas diariamente, uma parte considerada *standard*, ferramentas que existem em armazém, como por exemplo, as fresas de desbaste. Existem ainda as especiais, concebidas para realizar uma operação específica e denominadas por *Tool Auxiliary Wood* (TAW). Visto que este projeto foi desenvolvido numa fábrica em que grande parte da produção se destina a ferramentas especiais, é de prever que muitas delas usem também ferramentas especiais para realizarem a maquinagem, daí a existência de muitas TAW.

Neste momento, existem centenas de ferramentas na célula de trabalho e a tendência será para este número aumentar. Contudo, existiam apenas dois armários destinados às ferramentas, sendo que um deles apenas era utilizado parcialmente, pois estava em muito más condições. Neste, apenas duas gavetas podiam ser abertas e as restantes acumulavam lixo, conforme mostra a Figura 24. De forma a diminuir o tempo que os operadores gastam à procura das ferramentas, surgiu a necessidade de organizar todas estas ferramentas que estavam espalhadas pelos armários.

Para que esta organização fosse possível de efetuar e, ainda mais importante, fosse possível de manter, foi necessário encontrar mais espaço. Com o objetivo de reduzir os custos e potenciar os recursos existentes na empresa, encontrou-se um armário igual que não estava a ser

utilizado e apresentava melhores condições. Com a ajuda dos operadores, o armário foi restaurado e foi feita a troca pelo velho.



Figura 24 - Armário antigo com lixo acumulado.

Numa fase seguinte, procedeu-se à organização dos dois armários que alimentam a célula, sendo inicialmente feita uma separação. As ferramentas *standard*, uma vez que são as mais utilizadas, foram alocadas ao primeiro armário, enquanto que as TAW, foram distribuídas no restante espaço do primeiro armário e do segundo. A rotatividade de cada uma das ferramentas também foi tida em conta e, neste sentido, as ferramentas mais utilizadas foram colocadas a um nível superior para uma melhor ergonomia.

Na Figura 25, é possível observar as alterações efetuadas em termos de organização de ferramentas e as etiquetas colocadas para cada referência.



Figura 25 - Antes (lado esquerdo) e depois (lado direito) da organização das ferramentas *standard*.

Para cada ferramenta foi criada e etiquetada uma posição nas diferentes gavetas do armário, tornando intuitiva a sua identificação, a visualização de falta de ferramenta e a realização de um pedido destas ao armazém.

Muitas das ferramentas usadas na célula são reaproveitadas. Apesar de serem compradas a outros fabricantes, após a sua utilização e desgaste, estas são acumuladas numa caixa, separadas por referência e é criada uma OF para que possam ser reparadas. Assim, é-lhes associada uma caixa e seguem o percurso de uma ferramenta normal dentro da fábrica, onde

apenas vai ser necessário cortar o topo desgastado e afiar novamente. Graças a este método, a empresa consegue reaproveitar grande parte das ferramentas. Foi necessário criar um espaço no armário para estas. Visto que já são ferramentas usadas e não sofreram nenhum tratamento térmico nem revestimento, estas têm de ser distinguidas das *standard*, pois as afiadas apenas são usadas para operações de desbaste. As últimas passagens são complementadas pelas ferramentas novas para conferir um melhor acabamento.

Na Figura 26 está representado o local destinado às ferramentas afiadas numa fase inicial. Após as alterações, através da Figura 27, é possível visualizar a disposição das ferramentas afiadas, juntamente com os discos de construção soldada. Ambos foram colocados nas últimas gavetas, não devido ao número de utilizações, mas devido ao seu enorme peso, que a médio prazo acabaria por deformar os rolamentos do armário.



Figura 26 - Gaveta das ferramentas afiadas (antes).



Figura 27 - Gaveta das ferramentas afiadas (depois).

No caso do segundo armário, optou-se por um modelo diferente para a divisão de ferramentas. Uma vez que este seria principalmente usado para as *Tool Auxiliary Wood* (TAW) e estas apenas eram produzidas à unidade, não seria rentável, em termos de espaço, usar o mesmo tipo de separadores usados no armário 1. Retiraram-se as ferramentas das caixas onde eram armazenadas, conforme se pode ver na Figura 28, e usaram-se módulos em plástico que já existiam na empresa, permitindo uma melhor gestão visual conforme se pode ver na Figura 29.



Figura 28 - Posição inicial das TAW.



Figura 29 - Ilustração dos separadores modulares em plástico.

O número de TAW é enorme e, por isso, este processo de divisão de ferramentas, ilustrado na Figura 29, teve de ser replicado nas restantes gavetas do armário 2.

Por fim, também foi necessário encontrar uma solução para armazenar as brocas e os machos de roscar. O método escolhido foi o mesmo dos TAW, separadores modulares em plástico. Com recurso a apenas uma gaveta, foi possível fazer esta separação alocando os machos na parte esquerda da gaveta e as brocas do lado direito, conforme se pode ver na Figura 30.



Figura 30 - Gaveta de brocas e machos de roscar.

4.1.2 Porta-ferramentas

Na sequência da referência ao sistema de aperto de ferramentas (porta-ferramentas) no capítulo 3.4 (página 19), e tendo em vista complementar a **2ª oportunidade de melhoria**, foram estudados estes sistemas de forma exaustiva.

As ferramentas que maquinam as peças são apertadas em porta-ferramentas cónicos como o da Figura 31 e, posteriormente, estes têm de ser calibrados. Com recurso a uma máquina de medição precisa existente na célula (Figura 32), é determinada a altura exata da ferramenta desde a base do cone até ao topo da ferramenta. Conforme explicado no procedimento operativo (página 19), esta medição vai servir para que a máquina saiba exatamente a posição da ferramenta de modo a retirar material da peça no sítio pretendido.



Figura 31 - Porta-ferramentas cónico.



Figura 32 - Máquina de medição Zoller.

A quantidade de ferramentas a utilizar para maquinar as peças é elevada e, como os *magazines* (componente da máquina que suporta as diversas ferramentas que vão maquinar a peça) das máquinas são relativamente pequenos, a troca de ferramentas é constante. Além disso, também não existem na célula porta-ferramentas cónicos em número suficiente. Uma vez que não é possível ter, pelo menos, uma ferramenta de cada tipo apertada e calibrada, implica que várias ferramentas partilhem o mesmo cone de forma aleatória. Esta partilha obriga a que o processo de medição e consequente alteração da calibração da máquina sejam constantes ao longo do dia.

Aquando do início do estudo dos porta-ferramentas e ferramentas foi detetado um primeiro problema: o carrinho 1 que armazena os porta-ferramentas fora da máquina estava numa posição que não permitia a sua total utilização. Tratava-se de um carrinho com posições de armazenamento na parte superior e inferior, através do sistema de gaveta, mas este estava encostado à máquina, o que impedia o uso da gaveta conforme mostra a Figura 33. Como solução, trocou-se de posição com o carrinho 2 (carrinho da extremidade direita) visível na Figura 34.



Figura 33 - Posição carrinho 1 antes da troca.



Figura 34 - Posição carrinho 2 (carrinho da extremidade direita) antes da troca.

No caso do carrinho 1, este era partilhado por várias máquinas. Uma vez que os porta-ferramentas estavam em falta na célula e tinham de ser partilhados pelas diferentes máquinas, optou-se por organizá-los por tipo, ou seja, pelo comprimento e diâmetro. Assim, fez-se uma limpeza e organização pelo tipo de porta-ferramentas, conforme representado na Figura 35 (antes) e Figura 36 (depois).



Figura 35 - Estado inicial do carrinho de ferramentas 1.



Figura 36 - Carrinho de ferramentas 1 limpo e organizado.

Por fim, foi também organizado e etiquetado o carrinho 2. Como tinha um formato diferente, de um lado colocaram-se os porta-ferramentas que seriam partilhados pelas ferramentas menos usadas, ou seja, porta-ferramentas que estariam sempre vazios e disponíveis. Do lado contrário foram alocadas, nas duas primeiras filas, as ferramentas *standard* mais usadas, e nos

restantes níveis as TAW mais frequentes (cada porta-ferramentas destinado a apenas uma ferramenta fixa e com posição definida pela etiqueta). Esta separação é visível na Figura 37.

Com esta divisão surgiu ainda outro problema relacionado com os pinos de cada porta-ferramentas. Apesar de as máquinas partilharem os porta-ferramentas, os pinos de fixação mostrados na Figura 38, são diferentes consoante a máquina e estavam em grande falta na célula. Assim, surgiu a possibilidade de fabricar internamente uma pequena quantidade de cada, com um custo muito reduzido, quantidade esta que satisfaz as necessidades dos operadores.



Figura 37 - Carrinho 2 organizado.



Figura 38 - Porta-ferramentas cónico e pino.

4.2 Rebarbagem

Este subcapítulo destina-se a estudar a **4ª Oportunidade de Melhoria**, relacionada com a operação de rebarbagem executada em todas as peças sem exceção.

Conforme explicado no capítulo 3.4.1 (página 20), este problema consiste no facto da peça não sair totalmente pronta da máquina e do operador ter de a rebarbar no final, acabando por deixar a máquina parada. De forma a resolver o problema, foi sugerida e analisada a viabilidade de rebarbar a peça na máquina para que, pelo menos, a operação de rebarbagem manual fosse mais curta. Até à data, ainda não se conseguiu encontrar um método que permita realizar totalmente a rebarbagem na máquina, uma vez que, a ferramenta não consegue contornar todas as arestas sem tocar na peça. Assim, na fase final de um programa de CNC, após a última ferramenta fazer as suas operações, seria adicionada uma nova ferramenta (uma *ballnose*, ferramenta de pastilha arredondada) que faria um pequeno raio em todas as arestas em que fosse possível não haver colisão entre o porta-ferramentas e a peça. Na Figura 39 é possível verificar a rebarba deixada pela máquina e na Figura 40, a qualidade de acabamento deixada quando a máquina faz a operação de rebarbagem parcial, que na realidade, é bastante superior à conseguida por um operador de forma manual.



Figura 39 - Peça por rebarbar.

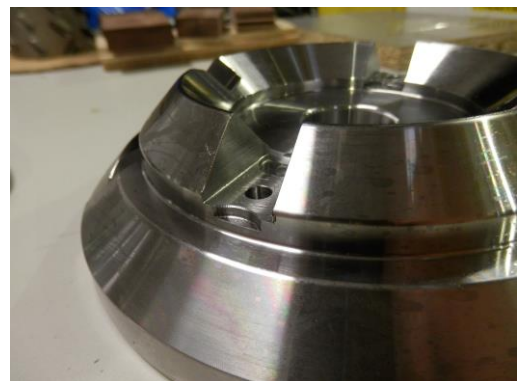


Figura 40 - Peça com rebarbagem parcial na máquina.

Como, à partida, o programador já sabia que seria demorada a programação desta operação, foi escolhida uma referência de peça *standard*. Esta escolha deveu-se ao facto de a programação só ser executada quando a peça é criada e, por isso, seria possível rentabilizar este tempo produzindo uma grande quantidade de peças. Como as peças *standard* são o mais próximo de uma produção em série existente na fábrica, estas seriam a melhor opção. De seguida as peças foram lançadas em produção e foram medidos os:

- Tempo de programação da peça sem rebarbagem na máquina;
- Tempo de programação com o acréscimo da operação da rebarbagem;
- Tempo de máquina de uma peça sem ser rebarbada na máquina e rebarbagem manual total;
- Tempo de máquina de uma peça a ser rebarbada parcialmente na máquina e parcialmente rebarbada manualmente.

Os resultados são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 - Tempos do teste de rebarbagem na máquina.

Descrição	Peça sem rebarbagem na máquina (mm:ss)	Peça com rebarbagem na máquina (mm:ss)
Tempo de programação	20:00	20:00+35:00=55:00
Tempo efetivo na máquina	50:51	54:42
Tempo de rebarbagem manual	07:17	03:10
Tempo de máquina + rebarbagem	58:08	57:52

Analisando os dados da Tabela 4, verifica-se que ocorre uma significativa diminuição do tempo que um operador perde a fazer a rebarbagem manual. Apesar de o tempo efetivo de máquina ter sido maior, analisando o tempo de máquina + rebarbagem, ainda há um ligeiro ganho. Contabilizando, por fim, o tempo que demorou a programação da parte da rebarbagem, verifica-se que este tempo é superior ao tempo demorado a programar toda a peça, criando assim uma grande diferença temporal.

Depois de várias conversas com os programadores e com alguns fornecedores de *software*, entendeu-se que este tempo dificilmente poderia ser reduzido de forma significativa, uma vez que, o programador teria sempre de fazer o percurso da *ballnose* de forma manual, selecionando à vez cada uma das arestas onde seria necessário maquinar, perdendo assim mais tempo que o desejável.

Apesar de o tempo total (máquina + rebarbagem manual) ser muito idêntico e ainda acrescer os 35 minutos a programar, a médio/longo prazo será obtido sempre um ganho, uma vez que se trata de uma peça de catálogo, ou seja, como a programação só é realizada uma vez, chegará a um ponto que este tempo já terá sido absorvido pelo número de peças vendidas. Também a nível de qualidade da operação, são notáveis as melhorias comparativamente ao método manual. Importa também referir que há outro ganho muito importante, o melhoramento do fluxo dentro da célula. Como foi referido anteriormente, um dos problemas apresentados consiste na criação de uma nova fila de espera para a operação da rebarbagem, que é minimizada com esta melhoria. Assim, começou a ser implementada a rebarbagem na máquina nas peças *standard* de maior rotatividade.

4.3 Procedimento Operativo

Na sequência das medições registadas no capítulo 3.4 (página 21) e das melhorias implementadas com a metodologia 5S, criou-se ainda um novo procedimento operativo, tendo por base um mecanismo de preparação de trabalho. Segundo o novo procedimento, cada máquina deve ter sempre as duas caixas a processar a seguir preparadas, de modo a que só se realizem operações de *setup* que não forem possíveis realizar com a máquina em funcionamento, reduzindo principalmente o tempo perdido à procura ferramentas, porta-ferramentas e respetiva calibração. Assim, executando o procedimento operativo, e numa situação ideal, será apenas necessário retirar a peça anterior da máquina, abrir o novo programa na máquina, colocar as ferramentas na máquina (estas já estariam previamente preparadas), colocar o aperto da peça na máquina, tirar o zero da peça e colocar a máquina em funcionamento.

Após todas estas alterações, escolheu-se um operador modelo para testar o novo método de trabalho e a eficácia das alterações efetuadas na célula. Fez-se uma nova análise de tempos, de modo a obter 1440 minutos de trabalho. Os resultados estão apresentados de forma parcial na Tabela 5 e de forma total no anexo B:

Tabela 5 - Tempos de paragem de máquina após implementação de melhorias.

Operação	Soma de tempo (mm:ss)	Percentagem	Setup
Outra máquina	126:31	29,51%	Externo
Rebarbar	36:06	8,42%	Externo
Colocar/retirar peça da máquina	35:57	8,38%	Interno
Comparar	34:01	7,93%	Interno
Verificar Ferramentas na máquina	24:14	5,65%	Externo
Medir peça	21:40	5,05%	Interno
Contraponto	19:48	4,62%	Interno
Outros	19:42	4,59%	Externo
Tirar zero	16:17	3,80%	Interno
Colocar Ferramenta na máquina	13:10	3,07%	Interno
Ajudar outro operador	12:50	2,99%	Externo
Apertar/retirar peças do aperto	10:49	2,52%	Externo
Retirar Ferramentas	10:29	2,44%	Interno
Chamar Programa	10:07	2,36%	Interno
Calibrar Ferramentas	06:36	1,54%	Externo

Na Tabela 5, onde constam todos os tempos de paragem durante o processo de medição após a implementação de melhorias, que totaliza 428 minutos de paragem em 1440 minutos.

À semelhança da análise executada no capítulo 3.4 (página 22), agrupou-se novamente os tempos de paragem por tipo de *setup* (Tabela 6) e chegou-se à conclusão que apesar do tempo despendido em tarefas internas ter sido idêntico, o tempo das tarefas externas foi reduzido em cerca de 148 minutos.

Como seria de esperar, após a implementação de 5S e de um novo procedimento de trabalho, nas tarefas relacionadas com a preparação de trabalho, o tempo despendido a procurar materiais e a executar calibrações foi reduzido, conforme se pode verificar na Tabela 6.

Tabela 6 - Divisão de tempos por tipo de *setup* após implementação de melhorias.

Setup	Soma tempo parada (mm:ss)	Percentual
Externo	261:22	60,96%
Interno	167:25	39,04%
Total Geral	428:47	100,00%

De forma global, são mostrados na Tabela 7 os somatórios de tempos de paragem antes e depois das mudanças. Verificou-se um ganho de cerca de 10% de tempo de máquina, correspondente a 143 minutos a mais de produção por máquina por dia.

Tabela 7 - Ganho de tempo de máquina final.

	Tempo estudado (mm:ss)	Tempo parado (mm:ss)	Percentagem
Situação inicial	1440:00	571:01	39,65%
Após implementação de melhorias	1440:00	428:47	29,78%

Uma vez que este tempo foi medido em apenas uma máquina, sendo esta a que realiza a maior diversidade de operações, os resultados são facilmente transpostos para a célula toda. Fazendo algumas contas, chegou-se à conclusão que, ganhando 143 minutos de tempo de máquina, por dia, no final de um ano com 228 dias de trabalho, se ganhariam 32604 minutos de trabalho, correspondentes a cerca de 22 dias (por máquina). Em função da melhoria apresentada, foi dada formação aos restantes operadores da célula e o novo procedimento de trabalho foi implementado.

Por fim, tendo em vista a redução do tempo de *setup* interno, foi estudada a **3ª Oportunidade de Melhoria**: Reduzir ou, se possível, eliminar a operação de “Comparar”.

Esta operação simples, usada apenas quando o aperto da peça escolhido é um porta-piças ou uma árvore para aplicação de contraponto, tem como função garantir que a peça foi apertada de forma correta e sem excentricidade. Conforme se pode ver na Figura 41, após a fixação da árvore no divisor da máquina, é utilizado um comparador apalpador (ferramenta de medição) de modo a garantir que não há excentricidade e que a peça está corretamente alinhada com os eixos da máquina.

Uma vez que é perdido muito tempo a executar esta operação, foi estudada uma alternativa para tentar reduzir este tempo. Surgiu a possibilidade de utilização de apertos de peça chamados hidro (Figura 42). Este tipo de mecanismo, confere um rigor de aperto maior que um porta-piças e elimina totalmente a operação de comparar, pois, quando a peça é apertada, a excentricidade nula já está garantida.

Trata-se de um mecanismo bastante preciso, pois a peça tem de estar na medida exata para conseguir entrar. No início deste projeto, já existia um aperto deste tipo na célula de produção, mas raramente era usado, uma vez que as peças não vinham na cota final e não entravam no cone.

Conseguiu-se que algumas referências (com o diâmetro do cone existente) viessem já retificadas do torno, o que eliminou totalmente a operação de comparar.



Figura 41 - Operação de comparar.



Figura 42 - Aperto Hidro.

Este tipo de melhoria apenas foi implementado em algumas peças de aperto mecânico, pois estas saem da célula de fresagem já na medida, justificando assim, o uso deste tipo de apertos. No caso das peças em construção soldada, como ainda têm de passar pela célula da soldadura, esta acaba por deixar um mau acabamento na peça, o que torna obrigatória a passagem pela célula da retificação. Este facto, não permite que a peça saia retificada do torno, uma vez que, tem de ter excesso de material para ser possível retificar depois da soldadura e dar o acabamento pelo qual o cliente paga.

Uma vez que apenas existe um cone e, ou seja, um só diâmetro, será sugerido na secção dos trabalhos futuros (ponto 1), a compra de cones de outros diâmetros (começando pelos diâmetros mais usados), no sentido de eliminar totalmente esta operação nas peças de encabadouro com aperto mecânico.

4.4 Controlo da Produção

Apesar dos ganhos de tempo apresentados anteriormente, é necessário medir a capacidade produtiva da célula de trabalho. No seguimento da **7ª Oportunidade de Melhoria**, foram estudadas as metas de produção impostas pela empresa. Conforme foi referido anteriormente, a célula de produção estudada tem como meta a produção de 160 peças por dia e um *lead time* associado de dois dias. Como no início deste projeto o WIP era demasiado elevado, começou por analisar-se a exequibilidade destes objetivos.

A empresa fabrica ferramentas especiais e, por isso, é normal que haja dias em que se executam peças mais complicadas e que demoram mais tempo, e dias em que se produz em maior quantidade devido à baixa complexidade das peças. Tornou-se claro que a meta das 160 peças diárias poderia não ser alcançada todos os dias. Assim, os dias em que a produção não

atingia o objetivo, seriam compensados pelos dias em que a produção era menos complexa e este seria superado.

Estão representados, na Tabela 8, os dados destes dois indicadores desde o mês de setembro, mês no qual se iniciou o projeto, até ao mês dezembro. A nível de produtividade, foi registada bastante irregularidade, principalmente associada a problemas de manutenção frequentes. Estes originaram diversas paragens completas de algumas máquinas, chegando a estar paradas durante alguns dias, o que diminuiu, de forma significativa, os valores de produtividade média diária. No caso do *lead time*, este apresentou uma descida contínua conseguindo atingir pela primeira vez o objetivo de dois dias no mês de dezembro.

Tabela 8 - Variação mensal do *lead time* e produtividade.

Mês	Produtividade (peças)	Lead Time (dias)	Dias úteis	Produtividade média diária
Setembro	3171	5,4	20	158
Outubro	3253	4,2	23	141
Novembro	3251	2,9	22	147
Dezembro	2074	1,9	15	138

Por fim, obteve-se uma descida significativa do WIP, estando este, na última semana de realização desta dissertação, abaixo das 200 unidades, uma descida significativa comparativamente às cerca de 1000 unidades iniciais. Assim, foi novamente calculado o rácio WIP/capacidade produtiva e verificou-se que o da célula de fresagem já não era o mais elevado da fábrica, deixando esta de ser o gargalo. Este rácio não é apresentado a pedido da empresa, de forma a manter sigilo de algumas informações.

A grande variabilidade de peças produzidas, com tempos de maquinaria muito díspares, afeta o controlo diário rigoroso do indicador de produtividade. Analisar o número de peças produzidas não permite fazer uma gestão eficiente, o que levou ao estudo de uma alternativa. Desta forma, foi sugerida a alteração do indicador, deixando de se controlar a produção da célula pelo número de peças por dia, e passando para um controlo a nível de tempo de máquina. Este é um indicador que poderia ser seguido diariamente e com fiabilidade.

Todas as peças têm um programa de maquinaria associado e através dele é possível obter um tempo previsto para executar cada peça. Através de medições práticas, concluiu-se que o tempo retirado do programa contem um erro de cerca de 10%. Assim, adicionando o mesmo erro ao tempo previsto de maquinaria e um fator que englobe o tempo de preparação de trabalho, foi possível começar a desenvolver um método de controlo de produção diária mais credível que o controlo por número de peças. Foi iniciado o desenvolvimento de um ficheiro para armazenar esta informação, mas devido ao curto espaço de tempo no qual se realizou este projeto, não é possível apresentá-lo. A continuação deste será sugerida na secção dos trabalhos futuros (ponto 2).

Na sequência da **6ª Oportunidade de Melhoria**, foi sugerida a implementação de reuniões diárias com o objetivo de envolver todos os colaboradores, desde a chefia aos operadores de máquina. Estas têm como objetivo apresentar os valores diários de três indicadores: produtividade, *lead time* e não conformidades (ver anexo C).

Esta iniciativa já tinha sido iniciada aquando da presença do instituto *Kaizen* na fábrica, mas a sua realização foi descontinuada. A reunião tem por base dar *feedback* do trabalho realizado no dia anterior, através do preenchimento dos indicadores (Figura 43), e identificar possíveis oportunidades de melhoria. De notar que estas são realizadas juntamente com a equipa da célula do torno, tendo sido criados os mesmos indicadores. Esta junção justifica-se pelo facto

de muitas vezes ocorrerem problemas na célula anterior, que, ao serem discutidos na reunião, podem ver os seus efeitos minimizados.

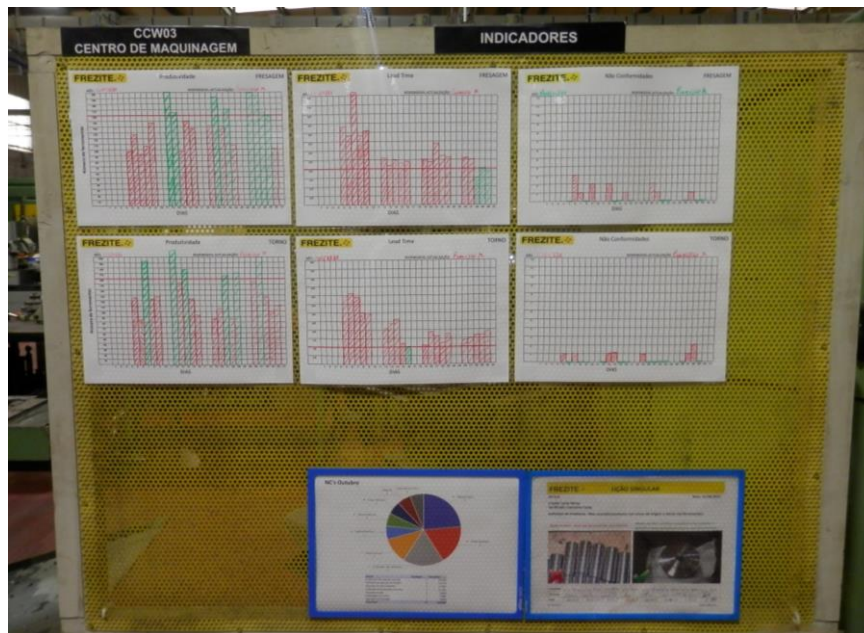


Figura 43 - Quadro *Kaizen* diário.

4.4.1 Werma Win

A empresa dispunha do *software* Werma Win, que tem como função a obtenção de dados de tempo de máquina. Como foi referido no início do capítulo 3.5 (página 23), este não tinha sido completamente implementado na empresa, pelo que o engenheiro de produção não fazia uso dos seus dados, surgindo assim a **5ª Oportunidade de Melhoria**.

O Werma Win está instalado em 4 das 5 máquinas existentes na célula e é constituído por uma torre de sinalização visual, também conhecida como *Andon* (Figura 44). Esta recebe informação da máquina, representando-a visualmente através de três situações distintas:

- Luz verde - máquina em funcionamento;
- Luz amarela - máquina em *standby*;
- Luz vermelha - máquina em erro.



Figura 44 - Sinalização visual *Andon*.

Durante cerca de uma semana, foram acompanhadas as quatro máquinas com o sistema, de forma a entender se realmente este estava a funcionar corretamente, ou seja, se os sinais visuais eram representativos da situação que estava a ocorrer.

Verificou-se desde logo que, apenas no CM-0017 estes sinais estavam totalmente corretos. Depois de alguma pesquisa, chegou-se à conclusão que, pelo facto de esta máquina ser a mais recente, já vinha preparada de fábrica para adaptar este sistema, trazendo integrado um painel para as saídas dos dados correspondentes. No caso das restantes máquinas isto não acontecia e, aquando da sua instalação, tiveram de ser adaptadas pelos técnicos para ser possível implementar este sistema. Esta tarefa não foi bem executada, ficando todas as máquinas com o mesmo problema.

Numa situação normal, máquina em funcionamento, todas acendem a luz verde e quando acabam de maquinar a peça, trocam para a luz amarela. O problema surge quando o operador abre a porta para realizar o *setup*, pois a máquina acende a luz vermelha (representante de um erro) quando, na verdade, deveria estar em *standby*. Aliado a este problema, existe ainda a possibilidade de o operador “enganar o sistema”. Colocando a máquina em modo manual, para posicionar a peça, esta acende a luz verde quando começa a movimentação dos eixos, mas não passa para a amarela quando atinge a posição correta. Contudo, esta situação não influencia, de forma significativa os dados, pois quando os operadores fazem este tipo de posicionamento continuam de imediato com o restante *setup*, ou seja, é sempre uma questão de poucos segundos para a luz vermelha acender. No anexo D é possível visualizar um exemplo do registo de atividade das máquinas num dado período e também os valores da disponibilidade destas.

Em suma, os dados obtidos pelo sistema não são totalmente corretos, mas satisfazem as necessidades do diretor de operações. Mesmo não sabendo se a máquina parou por erro ou por estar a ser realizado um *setup*, importa saber, numa fase inicial, quanto tempo a máquina está parada e quanto tempo está em trabalho. Para isso, basta somar o tempo de luz vermelha e de luz amarela (ambas representativas de paragem). Se mais tarde for necessário fazer esta distinção, terá de ser feito um estudo de sinais mais elaborado, uma vez que, estes terão de ser alterados para cumprir o pretendido. Além disto, foram também detetadas bastantes falhas do servidor que armazena os dados obtidos. Estas falhas obrigam a reiniciar o sistema frequentemente, sob pena de não registar os dados. Apesar de esta operação de reiniciar ser fácil, carece sempre de atenção ao sistema para saber se está a registar os dados ou não.

4.5 Qualidade

Com o objetivo de solucionar a **9ª Oportunidade de Melhoria**, foi estudado um método para eliminar o número de caixas que seguiam para a célula seguinte com a operação de fresagem manual (escatelagem) por realizar.

A ocorrência deste tipo de não conformidade, estava principalmente associada ao facto de a peça sair da máquina e o operador não a rebarbar logo. Se a operação de rebarbagem fosse executada logo de seguida, e pelo mesmo operador, dificilmente a operação de fresagem manual ficaria esquecida, pois este tinha analisado o desenho recentemente e sabia que tinha de colocar a caixa, não no tapete de saída, mas junto ao operador que executa esta operação.

De forma a solucionar este problema e visto que a operação de rebarbagem era realizada por diferentes operadores (mesmo de outras células), optou-se por implementar uma medida visual, baseada na colocação de uma folha que alertasse para a falta da operação de fresagem manual. Este método é demonstrado na Figura 45, onde é visível uma folha com um STOP, colocada numa caixa que aguarda a operação de rebarbagem. Desta forma, o operador que

executa a rebarbagem tem um alerta visual para enviar a peça para um local diferente do habitual tapete de saída.



Figura 45 - Mecanismo de alerta de operação de fresagem manual.

Estudando a qualidade da operação de rebarbagem, surgiu a **11ª Oportunidade de Melhoria:** Eliminar as peças que chegavam à célula de inspeção com a operação de rebarbagem incorreta. Conforme explicado anteriormente, a rebarbagem não era realizada no final da fresagem, mas sim, como uma operação quase que independente desta. As caixas por rebarbar eram acumuladas num lote e qualquer operador da fábrica estaria habilitado e seria incumbido desta tarefa. Como seria de esperar, muitas vezes esta operação era descuidada e os erros de rebarbagem eram constantes, devido a problemas de distração ou falta de vontade de a realizar.

Com o objetivo de minimizar estes erros, foi realizada uma reunião com os operadores para abordar o problema, e tentar encontrar uma solução. Passou a ser obrigatório assinar a OF depois da operação de rebarbagem, o que coloca a responsabilidade nos operadores, uma vez que, a sua assinatura significa que a operação está realizada com qualidade. Caso contrário, na falta da assinatura, o operador da célula seguinte recusa a entrada da peça no seu setor, uma vez que não cumpre o procedimento operativo.

Por fim, a nível de qualidade, surgiu também a **10ª Oportunidade de Melhoria:** Detetar de que forma é que as peças eram danificadas e eliminar esses defeitos. Como foi explicado anteriormente, as peças em alumínio são muito fáceis de danificar, agravando o facto de estas circularem em caixas pela fábrica. Depois da deteção de demasiados defeitos (riscos), procurou-se detetar a sua origem, tendo-se percebido que, os riscos bem definidos, eram provocados quando as peças eram apertadas nos porta-pinças das células de afiamento ou montagem (os sistemas de aperto já apresentavam alguns defeitos que riscavam as peças). Como a renovação deste material já estava em curso, nada mais se fez em relação a este. A segunda causa deve-se ao facto de as peças circularem pela fábrica em caixas. Durante todo o circuito da fábrica, era natural que as peças fossem batendo na parede da caixa ou até mesmo noutras peças dentro da mesma, pelo que a ocorrência de riscos aleatórios ou um acabamento baço, em peças de alumínio, era inevitável.

No sentido de eliminar este tipo de não conformidade, procedeu-se a um PDCA:

- Planear: Perante o problema da ocorrência de risco nas peças em alumínio, em conjunto com o técnico de qualidade, decidiu-se que a solução seria envolver as peças em papel aquando da operação de torno (primeira célula onde é retirado material à peça) com o objetivo de as proteger ao longo do percurso pela fábrica. No caso das peças de maior dimensão o papel seria substituído por cartão (Figura 46);
- Executar: procedeu-se à execução do plano traçado;



Figura 46 - Aplicação de cartão entre as peças.

- Verificar: após algumas semanas de aplicação deste método, foi notada, pelo técnico de qualidade, uma redução quase total dos riscos provocados durante o transporte nas caixas. Os riscos que ainda ocorriam, estavam associados ao descuido dos operários nas tarefas de envolver novamente as peças em papel, após realizarem as operações da sua célula;
- Agir: através das conclusões obtidas no ponto anterior, foi dada autorização para este processo ser implementado em todas as peças em alumínio.

Com esta alteração foi possível verificar uma redução drástica da ocorrência deste tipo de não conformidade, ficando ainda em fase de resolução a questão das peças riscadas devido às más condições dos sistemas de aperto.

Importa ainda referir que a meio deste projeto, devido às diversas não conformidades que foram sendo detetadas, achou-se por bem dar uma pequena formação sobre qualidade aos operadores da célula de fresagem, incidindo principalmente sobre o plano de inspeção que consta no procedimento operativo. Como dois dos operadores da célula eram novos e ainda não tinham realizado esta formação, a inspeção de peças que realizavam era baseada no que os operadores mais velhos lhes diziam. Assim, foi possível instruir toda a equipa no sentido de produzir com qualidade todas as peças, tendo sempre em vista a diminuição do número de não conformidades. Esta evolução pôde confirmar-se, uma vez que ocorreram, em média, em 2018, 21 não conformidades por mês até ao dia em que se iniciaram os trabalhos (mês de setembro). A partir desta altura, este número foi sendo reduzido para uma média mensal de 12 não conformidades (meses de setembro a dezembro).

4.6 Total Productive Maintenance (TPM)

Este capítulo destina-se a aprofundar a **12ª Oportunidade de Melhoria**, relacionada com as frequentes avarias que ocorreram ao longo do projeto.

Desde cedo se percebeu que a manutenção seria um tema sensível e crucial para o funcionamento da empresa, pelo que alguma coisa diferente teria de ser feita para combater o fraco desempenho nesta área. Surge então a ideia de implementar TPM, começando-se pelo primeiro “pilar”, a manutenção autónoma. Esta colocou algumas tarefas mais simples à responsabilidade do operador, tais como, verificação dos sistemas pneumáticos, hidráulicos e de lubrificação, mas também ações de limpeza. O objetivo passa por assegurar, na pior das hipóteses, as condições mínimas de trabalho, de forma a não danificar as máquinas.

Apesar de parecer pouco, a simples limpeza das máquinas leva a um ambiente de trabalho mais agradável e ajuda a prever possíveis avarias, uma vez que se torna mais fácil identificar fugas de fluidos e anomalias. Também o controlo dos níveis de fluidos e controlo visual do

estado dos diversos filtros e cabos/mangueiras da máquina, ajudam no sentido de prevenir avarias mais graves. Para que isto fosse possível, foi criado um procedimento de manutenção para as máquinas que ainda não dispunham deste (ver anexo E), juntamente com uma folha de registo de ocorrência desta atividade. Este plano de manutenção autónoma tinha sido implementado em algumas máquinas no passado, mas foi descontinuado, uma vez que ninguém da chefia controlava se o processo era ou não executado, não existindo nenhum registo de atividades. Neste sentido, foram criadas as folhas de registo para que o operador assinalasse a inspeção que tinha realizado, e no final do mês esta folha seria controlada pelos engenheiros de produção e manutenção (Figura 47).



Figura 47 - Implementação de manutenção autónoma.

Conforme foi referido no capítulo 3.8 (página 26), foi realizada, pelo fabricante das máquinas, uma intervenção corretiva. Na sequência do segundo “pilar” do TPM, foi realizada também nesta altura manutenção preventiva às restantes máquinas, de modo a evitar futuros problemas. Esta manutenção preventiva não foi total, uma vez que ainda são visíveis alguns problemas de arrefecimento do CM0005, mas foi decidido tratar da anomalia internamente.

Devido ao curto espaço de duração do projeto (quatro meses), não foi possível implementar outras ações relativas ao TPM.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

No início do projecto, que esteve na origem desta dissertação, foram definidos como objetivos principais a diminuição do *lead time* e o aumento do nível de serviço e da produtividade na célula da fresagem.

A presença diária na célula revelou-se uma importante arma para tomar conhecimento dos processos produtivos e para a deteção dos problemas que condicionam a produção. Em simultâneo, o estudo dos tempos e métodos dos processos de fabrico, permitiram identificar diversas oportunidades de melhoria na célula em estudo, com especial destaque para o fluxo de produção, tempos de paragem e manutenção.

As propostas de melhoria que foram possíveis implementar vieram minimizar ou eliminar os problemas mais críticos, apresentando resultados satisfatórios. Foi notada uma melhoria significativa no fluxo de produção, com reflexo na diminuição do *WIP* e do *lead time*. Importa também referir o ganho de tempo de máquina, a diminuição das filas de espera, a melhor organização de trabalho e diminuição das não conformidades, traduzindo-se nos objetivos propostos pela empresa.

Todas estas alterações contribuíram positivamente para o melhoramento da célula de produção em estudo. No final do projeto, esta unidade já não era o gargalo do processo produtivo.

As empresas devem entregar os seus produtos no momento certo e com elevada qualidade, sempre ao preço mais baixo, tarefa cada vez mais difícil de atingir. Só com o envolvimento de toda a estrutura organizacional e com o foco na melhoria contínua, é que as empresas se conseguirão afirmar num mundo tão exigente. A filosofia *lean* assume um papel importantíssimo numa empresa que pretenda manter a competitividade, a todos os níveis.

5.1 Trabalhos Futuros

Tendo em vista a continuação do trabalho desenvolvido neste projeto, são propostos alguns desafios e ideias para desenvolver no futuro:

1. Continuação do estudo dos sistemas de aperto de peça hidro para os diâmetros mais usados;
2. Continuação do desenvolvimento do ficheiro de controlo de produção por tempo de máquina;
3. Continuação da implementação do TPM, assim como o controlo da manutenção autónoma efetuada;
4. Elaboração de um estudo sobre as ferramentas que têm posição fixa no *magazine* das máquinas, de forma a que a sua posição no programa já esteja definida corretamente pelo programador;

5. Elaboração de um estudo sobre novas ferramentas de corte, que permitam obter velocidades de avanço maiores e reduzam o tempo de máquina, sem prejudicar o acabamento;
6. Continuação e consolidação da aplicação dos 5S;
7. Continuação das reuniões diárias e consequente preenchimento dos indicadores;
8. Continuação do estudo do processo de rebarbagem.

Referências

- Abreu, Luísa. 2017. "Análise, identificação e implementação de oportunidades de melhoria no armazém de produto acabado de uma fábrica de ferramentas de corte", FEUP.
- Bhagwat, Nikhil V. 2005. "Balancing a U-Shaped Assembly Line by applying Nested Partitions Method", Iowa State University.
- C.T.C.P. 2011. "Produção Lean Guia do Empresário". no. 8:1-47.
- Cachim, Maria. 2018. "Implementação de Metodologias Lean num setor de trabalho Corte LASER 2D", FEUP.
- Carreira, Bill. 2005. *Lean Manufacturing that Works: Powerful Tools for Dramatically Reducing Waste and Maximizing Profits*. New York: American Management Association.
- Coimbra, Euclides A. 2013. *Kaizen in logistics and supply chains*. New York: McGraw-Hill Education.
- Dias, Mário. 2016. "Metodologias Lean numa Empresa de Produção de Mobiliário", FEUP.
- Eaton, Mark. 2013. *The lean practitioner's handbook*. London ; Philadelphia: Kogan Page,., <http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpLPH00001>.
- Feld, William M. 2001. *Lean Manufacturing Tools, Techniques, and How to Use Them*. St. Lucie Press ; APICS.
- Ferreira, Pedro. 2018. "Aplicação de Metodologias Lean na Produção de Serras Circulares", FEUP.
- Frezite. 2018. Regulamento Interno.
- Hirano, Hiroyuki. 1996. *5S for operators : 5 pillars of the visual workplace*. England: American Technical Publishers.
- Holweg, Matthias. 2007. "The genealogy of lean production". *Journal of Operations Management* no. 25 (2):420-437. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272696306000313>.
- Imai, M. 2012. *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy*.
- Jacobs, F.R. e Richard B. Chase. 2010. *Operations and Supply Chain Management*.
- LeanProduction. 2018. Acedido a 15/12/2018. <https://www.leanproduction.com/tpm.html>.
- Lian, Y. e H.V. Landeghem. 2002. "An application of simulation and value stream mapping in lean manufacturing". Comunicação apresentada em 14th European Simulation Symposium, em Dresden, Germany.

- Liff, Stewart e Pamela Ashley Posey. 2004. *Seeing is believing : how the new art of visual management can boost performance throughout your organization*. New York: AMACOM.
- Liker, Jeffrey K. e David Meier. 2006. *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyotas's 4Ps*. New York: McGraw-Hill.
- Maia, Laura Costa, Anabela Carvalho Alves e Celina Pinto Leão. 2011. "Metodologias para Implementar Lean Production : uma revisão critica de literatura".
- Monden, Yasuhiro. 1998. *Toyota Production System : an Integrated Approach to Just-in-Time*. 3. ed. Norcross: Engineering & Management Press.
- Ohno, T. 1988. *Toyota Production System : Beyond Large - scale Production*. Cambridge,Mass.: Productivity Press.
- Pinto, João Paulo. 2014. *Pensamento Lean – A Filosofia das Organizações Vencedoras*.
- Riezebos, Jan, Warse Klingenberg e Christian Hicks. 2009. "Lean Production and information technology: Connection or contradiction?". *Computers in Industry*.
- Sarkar, Debashis. 2006. *5S for service organizations and offices : a lean look at improvements*. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.
- Shingo, Shigeo. 1985. *A Revolution in Manufacturing : the SMED System*. Stamford, Conn.: Productivity Press.
- Simboli, Alberto, Taddeo Raffaella e Morgante Anna. 2014. "Value and Wastes in Manufacturing. An Overview and a New Perspective Based on Eco-Efficiency". *Administrative Sciences*.
- Suzaki, Kiyoshi. 2010. *Gestão de Operações Lean: Metodologias Kaizen para a melhoria contínua*. 1ª ed.
- Vieira, L. 2010. "Aplicação de Lean Manufacturing na Linha Produtiva da Fedima Tyres", Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Womack, James P. e Daniel T. Jones. 2003. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*. 1st Free Press ed. New York: Free Press.
- Womack, James P., Daniel T. Jones e Daniel Roos. 1990. *The machine that changed the world*. Vol. 35.

ANEXO A: Somatório do Tempo de Máquina Parada Inicialmente

Operação	Soma de tempo (mm:ss)	Percentagem	Setup
Outra máquina	105:47	18,53%	Externo
Rebarbar	71:36	12,54%	Externo
Apertar/retirar peças do aperto	52:02	9,11%	Externo
Medir peça	40:46	7,14%	Interno
Verificar Ferramentas na máquina	30:45	5,39%	Externo
Procurar Ferramentas	27:52	4,88%	Externo
Tirar zero	25:52	4,53%	Interno
Colocar/retirar peça da máquina	22:48	3,99%	Interno
Calibrar Ferramentas	22:44	3,98%	Externo
Outros	19:52	3,48%	Externo
Comparar	17:53	3,13%	Interno
Procurar apertos peça	16:46	2,94%	Externo
Procurar programa	12:42	2,22%	Externo
Chamar Programa	10:10	1,78%	Interno
Colocar Ferramenta na máquina	10:03	1,76%	Interno
Problema de Programação	10:01	1,75%	Externo
Retirar Ferramentas	08:38	1,51%	Interno
Posicionar Eixos	07:32	1,32%	Externo
Contraponto	07:16	1,27%	Interno
Organizar trabalho	06:46	1,19%	Externo
Roscar manual	06:05	1,07%	Externo
Fazer programa	06:00	1,05%	Externo
Limpeza	05:59	1,05%	Interno
Procurar laminas	04:34	0,80%	Externo
Computador ocupado	04:33	0,80%	Externo
Limar	04:17	0,75%	Externo
Erro da máquina	03:17	0,57%	Interno
Ajudar outro operador	02:14	0,39%	Externo
Analisar desenho	02:03	0,36%	Externo
Assinar	01:53	0,33%	Externo
Inspeção Visual	01:22	0,24%	Interno
Escarear	00:53	0,15%	Externo
Total Geral	571:01	100,00%	

ANEXO B: Somatório do Tempo de Máquina parada após Implementação de Melhorias

Operação	Soma de tempo (mm:ss)	Percentagem	Setup
Outra máquina	126:31	29,51%	Externo
Rebarbar	36:06	8,42%	Externo
Colocar/retirar peça da máquina	35:57	8,38%	Interno
Comparar	34:01	7,93%	Interno
Verificar Ferramentas na máquina	24:14	5,65%	Externo
Medir peça	21:40	5,05%	Interno
Contraponto	19:48	4,62%	Interno
Outros	19:42	4,59%	Externo
Tirar zero	16:17	3,80%	Interno
Colocar Ferramenta na máquina	13:10	3,07%	Interno
Ajudar outro operador	12:50	2,99%	Externo
Apertar/retirar peças do aperto	10:49	2,52%	Externo
Retirar Ferramentas	10:29	2,44%	Interno
Chamar Programa	10:07	2,36%	Interno
Calibrar Ferramentas	06:36	1,54%	Externo
Roscar manual	05:26	1,27%	Externo
Organizar trabalho	04:45	1,11%	Externo
Fazer Programa	04:20	1,01%	Externo
Problema de Programação	04:14	0,99%	Externo
Limpeza	04:07	0,96%	Interno
Procurar Ferramentas	01:53	0,44%	Externo
Inspeção Visual	01:49	0,42%	Interno
Limar	01:20	0,31%	Externo
Procurar programa	01:19	0,31%	Externo
Procurar laminas	01:07	0,26%	Externo
Procurar apertos peça	00:10	0,04%	Externo
Total Geral	428:47	100,00%	

ANEXO C: Indicadores da célula de fresagem



Produtividade

FRESAGEM

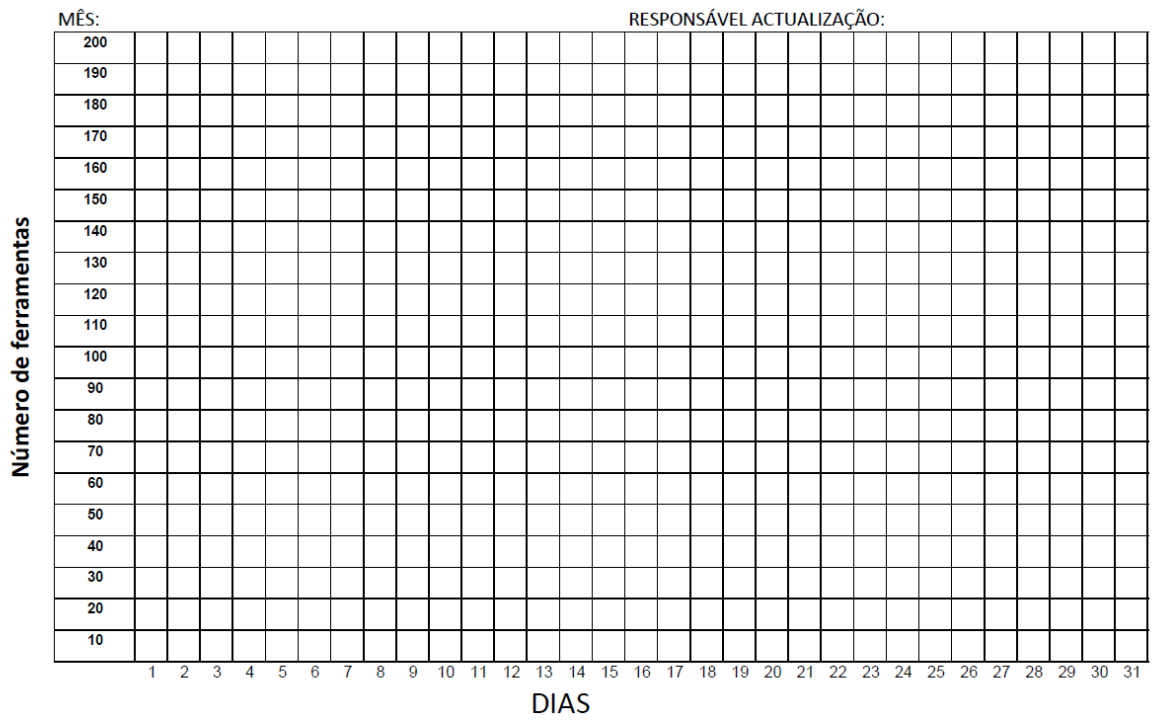


Figura 48 - Indicador de Produtividade.

ANEXO D: *Werma Win*

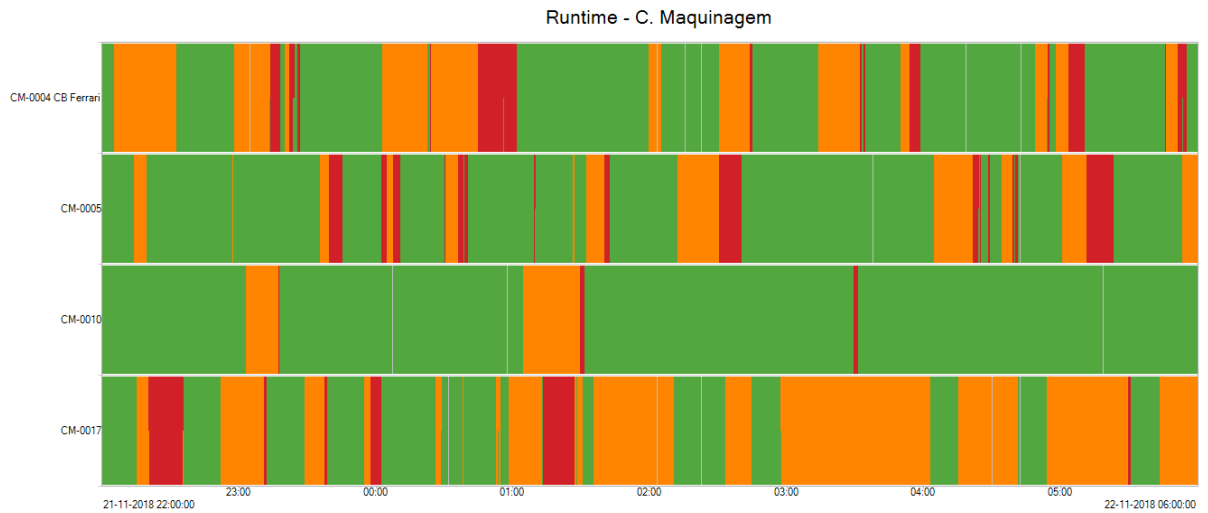


Figura 51 - Registo de atividade num periodo de tempo à escolha.

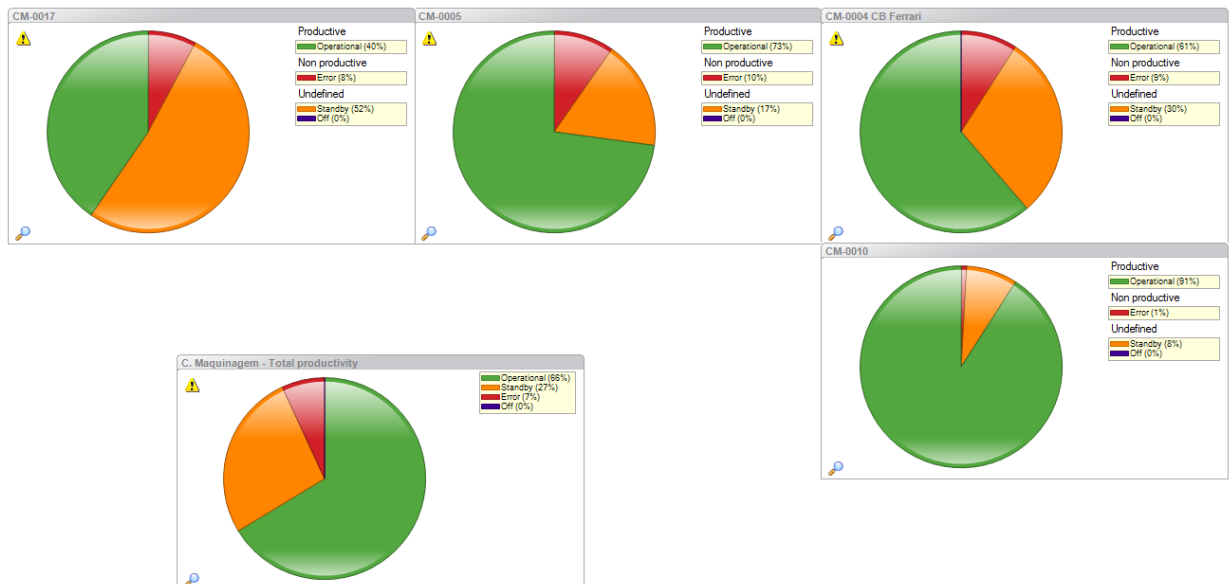
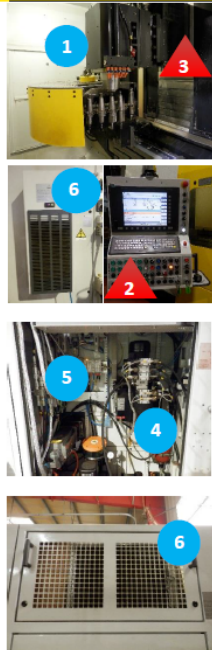













Figura 52 - Disponibilidade por máquina e global fornecidas pelo *software*.

ANEXO E: Manutenção Autónoma

FREZITE 



Manutenção Autónoma					
Local	Componente	Tipo Inspeção	Descrição	Ferramentas	Periodicidade
	Mangueiras Articuladas e Foles	Visual	Inspeccionar o estado dos cabos de alimentação do motor. Verificar o estado das mangueiras articuladas e verificar o estado dos foles.	Inspeção visual	M
	Exterior máquina	Limpar	Manter painel de comando limpo. Manter o exterior limpo (a parte superior da máquina também). Verificar se os filtros do ar condicionados estão limpos. Verificar se armário elétrico esta fechado.	Pano macio	M
	Interior máquina	Limpar	Manter interior limpo, tendo especial atenção às limalhas que possam estar sobre as proteções.	Vassoura pequena (com cerdas plásticas)	S
	Sistema Pneumático	Visual/Ajuste	Verificar se pressão pneumática está correta. Se necessário ajustar (6 – 6,5bar). Verificar nível óleo central hidráulico e caso existam fugas, avisar manutenção.	Inspeção visual	S
	Sistema de Óleo Lubrificação e Óleo Central Hidráulico	Visual	Drenar óleo de lubrificação na parte da frente da máquina e coloca-lo no reservatório de óleos usados. Verificar se a saída do óleo refrigerador esta limpa.	Inspeção visual	S
	Ar Condicionado	Visual	Verificar filtro do ar condicionado e o permutador do chiller. Se estive sujo, limpe ou alerte manutenção.	Inspeção visual	M
	Exterior/Interior	Visual/Auditiva	Detetando alguma anomalia (fuga, cabo ou tubo danificado), comunicar à manutenção. Prestar especial atenção às tubagens de refrigeração.		S

 Limpeza
  Inspeção
  Manutenção
  Man. Corretiva
 D- Diário
 M- Mensal
 T- Trimestral
 A- Anual

Cumpra sempre as normas de Segurança! Use os EPI's




Figura 53 - Procedimento de manutenção autónoma CM-0017.

REGISTO MANUTENÇÃO AUTÓNOMA CM-0017



MÁQUINA: CM-0017 - Fresadora C.B.Ferrari A176 840D-sl (serial n. 2014001)
SETOR: Centros de Maquinagem **CENTRO DE CUSTO:** WO003

		DEZEMBRO 2018				
Nº ATIV.	DESCRIÇÃO ATIVIDADE	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5
		2ª FEIRA Data: _____	2ª FEIRA Data: _____	2ª FEIRA Data: _____	2ª FEIRA Data: _____	2ª FEIRA Data: _____
1	Inspeção Mangueiras/Foles					
2	Limpar Exterior					
3	Limpar Interior					
4	Sistema Pneumático					
5	Unidade Hidráulica					
6	Sistema Refrigeração					
7	Inspeção Exterior					

		JANEIRO 2019				
Nº ATIV.	DESCRIÇÃO ATIVIDADE	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5
		2ª FEIRA Data: _____	2ª FEIRA Data: _____	2ª FEIRA Data: _____	2ª FEIRA Data: _____	2ª FEIRA Data: _____
1	Inspeção Mangueiras/Foles					
2	Limpar Exterior					
3	Limpar Interior					
4	Sistema Pneumático					
5	Unidade Hidráulica					
6	Sistema Refrigeração					
7	Inspeção Exterior					

Nota: As atividades devem ser efetuadas sempre no início do turno

Figura 54 - Folha de registo de manutenção autónoma CM-0017.