



Digitalização de uma linha de produção de injeção de plásticos e metodologia para a transição digital com recurso a ferramentas *Lean*

Miguel de Sousa Borges Monteiro Pires

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Orientadores: Prof. Paulo Miguel Nogueira Peças
Prof. Inês da Fonseca Pestana Ascenso Pires

Júri

Presidente: Prof. Rui Manuel dos Santos Oliveira Baptista
Orientador: Prof. Paulo Miguel Nogueira Peças
Vogais : Prof. Inês Esteves Ribeiro
Prof. Artur Jorge Da Cunha Barreiros

Setembro 2020

Agradecimentos

Quero agradecer aos professores Paulo Peças e Inês Pires pelos seus conselhos, orientação e apoio durante o desenrolar deste projeto. Agradeço também à *Visteon* e a toda a equipa pela oportunidade de desenvolver este projeto, assim como pelo apoio que me foi transmitido.

Devo também a realização deste trabalho às circunstâncias globais atuais. Caso a pandemia atual não tivesse sucedido, muito provavelmente não teria finalizado este projeto. Graças ao *lay-off* adquiri o maior recurso existente e também aquele que me faltava: tempo. Tento sempre ser profícuo em canalizar o que de bom pode surgir de algo mau, sendo que desta terrível situação surge o projeto que me garante o final da minha educação universitária.

Aos meus amigos criados no Insitituto Superior Técnico e não só, que me acompanharam durante este processo de graduação, pelo que contribuem direta e indiretamente no meu crescimento. Um obrigado especial ao Alexandre Ferro, Diogo Oliveira, Henrique Matos e Miguel Viana, pelo apoio constante e auxílio, ao longo de todos estes anos, neste projeto que culmina com o fim do meu Mestrado.

À Filipa, por toda a sua compreensão, paciência, suporte infindável e capacidade de me fazer ver as ideias em perspectiva. Sem ti, este projeto não seria possível.

Por último, dedico esta dissertação aos meus pais e aos meus irmãos, por me terem tornado quem sou hoje, suportando-me sempre que assim foi preciso. Se nunca desisto, quando às vezes parece ser a solução mais simples é por vossa causa. São os pilares da minha educação e é a vocês que devo quem sou hoje.

Resumo

Face aos avanços tecnológicos observados na sociedade, com especial incidência para o ramo industrial, o ser humano deve adaptar-se. Na indústria, o *Lean* é um dos modelos amplamente reconhecido pelo aperfeiçoamento de resultados de produção, através da redução de desperdícios e aposta na melhoria contínua dos meios produtivos. Mais recentemente, surge a 4ª revolução industrial e, com ela, uma necessidade premente de implementação dos sistemas produtivos nos meios digitais.

Nesse sentido, foi desenvolvido um estudo que, através de princípios *Lean* e da revolução observada na Indústria 4.0, identificou a possibilidade de evolução digital de uma linha de produção de componentes em plástico. Em seguida, diagnosticou-se as ineficiências do sistema produtivo e aplicaram-se soluções práticas de forma a eliminar essas ineficiências. Estes desenvolvimentos foram efetuados com o propósito de melhoria de resultados operacionais da linha de produção, eliminação de desperdícios, simplificação de processos, fluidez de comunicação entre equipas, aumento da informação possível de extrair a partir da linha de produção e, seu conseqüente aproveitamento para futura otimização.

Foi, portanto, criado um sistema – Plastic Computerized Integrated System (**PCIS**) que, tendo o acesso à informação disponível na área de fabrico, aglomera toda a informação, sinais e resultados do processo produtivo desde matéria-prima a envio para cliente, seguindo o fluxo de valor dos produtos. De acordo com a literatura presente no documento, a digitalização deve ser acompanhada pela implementação de metodologias *Lean*, de forma a não amplificar imperfeições prévias. Logo, preliminarmente à concepção e implementação do PCIS são aplicadas ferramentas *Lean* por melhorar o sistema produtivo, e durante a implementação digital também o são. Isto para que os desperdícios originados em processos analógicos e digitais sejam minimizados.

Devido aos excelentes benefícios observados na implementação digital da linha de produção de Plásticos – quer do ponto vista organizacional, como de resultados – foi proposto o mesmo processo de transição digital para uma linha de injeção de magnésio. Surge assim a oportunidade de definir um método algorítmico de implementação digital sustentado nos 2 casos de estudo presentes.

Por fim, serve esta dissertação para documentar os avanços feitos na implementação digital, recorrendo às ferramentas disponíveis, assim como para criar uma metodologia prática para futuras digitalizações, independentemente do produto ou processo. Acompanhada dessa metodologia, surge ainda como complemento as limitações observadas para sistemas digitais, assim como as dificuldades enfrentadas aquando da implementação, devido à contínua inevitabilidade de dependência do ser humano.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing*, Digitalização, I4.0, PCIS, Gestão Visual, Melhoria Contínua

Abstract

In the last decades, there has been tremendous technological progress in the various areas of society. One of which is the industrial sector and, like the human being, it had to adapt to the changes established. In industry, one of the most notorious productive models is the Lean Manufacturing, which has the basic principles of enhancing the productive results through waste reduction and continuous improvement of the production means. With the 4th Industrial Revolution rise, the digital realm has taken a new relevance, and the transition of the production systems to it should have a growing priority.

Hence, a research was developed to substantiate that, using Lean tools and mentality, this transition from analogic to digital should be more sustainable, and possibilitate the I4.0 full potential. This acquired knowledge was applied to a plastic components production line as an example. Then, a diagnosis of the productive system was made in order to identify and evaluate its inefficiencies. Subsequently, practical solutions were applied to the inefficiencies detected in order to eliminate them. These developments were done with the purpose of the improvement of the production line operational results through: waste reduction, process simplification, communication flow between teams, increasing of possible information extracted from the production line and, consequent usage of which, for future optimization.

Since the digitalization must be accompanied by Lean tools usage (according to the present literature), in order not to amplify precedent imperfections, this process was made so it can ease the digitalization process. After this optimization by Lean methods, it was created a system (PCIS) that has access to the information available in the manufacturing area, so it can encompass all the information, signals and results of the whole process, from raw material, to shipping for client, following the value stream of the products.

Due to the excellent results proven in the digitalization of Plastics production line, it was proposed that the same process should happen to a magnesium injection production line. With this, came the opportunity to define a method of digitalization based on these case studies.

Thus, this thesis is meant, to document not only a digital implementation and its issues, appealing to the available tools, but also to create a practical method for future digitalizations, regardless of the product or process. Followed by this method, is joined as supplement the limitations of digital systems faced, as well as the difficulties confronted at the time of implementation, due to the continuous inevitability of human touch dependence.

Keywords: Lean Manufacturing, Digitalization, I4.0, PCIS, Visual Management, Continuous Improvement

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE ACRÓNIMOS	XII
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 <i>Lean Manufacturing</i>	4
2.1.1 Princípios <i>Lean Manufacturing</i>	6
2.1.2 Ferramentas <i>Lean Manufacturing</i>	8
2.1.3 Gestão Visual	10
2.1.4 Indústria 4.0.....	11
2.1.5 Limitações e resistência à mudança	12
3 CASO DE ESTUDO	15
3.1 Contextualização do caso de estudo	15
3.2 Diagnóstico da Linha de Produção	18
3.2.1 Identificação de Ineficiências	19
3.2.2 Análise de Ineficiências com recurso ao <i>Lean</i>	26
3.2.3 Resolução de Ineficiências com recurso ao <i>Lean</i>	36
3.3 Proposta de um sistema digital	42
4 METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DIGITAL	55
4.1 Caso de estudo do processo de injeção <i>Thixo Molding</i>	55
4.1.1 Análise de Particularidades de Processo e Ineficiências	58
4.1.2 Soluções encontradas para a divergência de Processos	61
4.2 Proposta de Metodologia de Implementação Digital	65
4.3 Limitações, Dificuldades enfrentadas e Resistência à Mudança.....	69
5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	71
5.1 Conclusões.....	71
5.2 Desenvolvimentos Futuros.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO A – MODELO DE QPS ATUALIZADO	A
ANEXO B – EXEMPLO DE EXPORTAÇÃO DE RELATÓRIO PARCIAL <i>HTML</i>	B

Índice de Figuras

Figura 1: Adaptação da Casa <i>Lean</i> [30][31][32]	7
Figura 2: Esquema hierárquico e respetivas responsabilidades individuais em função do produto final..	16
Figura 3: Esquema dos passos inerentes ao sistema produtivo de injeção de plásticos	17
Figura 4: Da esquerda para a direita: batoco, <i>big bag</i> , sacos de plástico e cisterna industrial.....	19
Figura 5: <i>Changeover</i> em progresso	21
Figura 6: Rastreabilidade de componentes inseridos em <i>WARE</i>	22
Figura 7: Sistema de Visão para controlo de qualidade automático	23
Figura 8: Estrutura do dispositivo de leitura MFI [55]	37
Figura 9: Caixa para primeiras/últimas peças de produção e exemplos de modelos pós-montagem	38
Figura 10: MIR em posição de abastecimento na doca	39
Figura 11: Sistema de corte, trituração e recirculação de jitos	40
Figura 12: Máquina CMM com peça colocada no fixture e armário de fixtures	41
Figura 13: Nível de abrangência global ao processo do PCIS	43
Figura 14: Planta da Linha de Produção, com esquematização da infra-estrutura física do PCIS.....	44
Figura 15: Menu da base de dados de moldes e fichas técnicas por molde.....	45
Figura 16: Esquema representativo dos sistemas de <i>Poka-Yoke</i> implementados.....	49
Figura 17: Menu de Qualidade em funcionamento	50
Figura 18: Menu de Paragens.....	52
Figura 19: Menu de Relatórios e disponibilização de relatórios simples com cruzamento de filtros.....	53
Figura 20: Conjunto de gráficos de exportação <i>HTML</i> a longo prazo	54
Figura 21: Passos inerentes ao sistema produtivo <i>Thixo Molding</i>	56
Figura 22: Menu de Escolha de PN para inspeção – TCIS	62
Figura 23: Menu de Qualidade TCIS com as devidas adaptações ao <i>Thixo</i>	63
Figura 24: PCIS versão <i>web</i> , com acesso em tempo real por VPN	64
Figura 25: Esquema da metodologia de implementação global de processos digitais	68
Figura 26: Exemplo de QPS com procedimentos atualizados e inspeção padrão definida	A

Figura 27: Relatório diário e por turno do molde 181.1B

Lista de Tabelas

Tabela 1: Diferentes tipos de desperdício <i>Muda</i> e suas características	9
Tabela 2: Levantamento dos problemas encontrados por equipa, tipo de desperdício e causa	27
Tabela 3: Quadro de Gestão Visual de planeamento de produção	46

Lista de Acrónimos

AGV – *Automated Guided Vehicles*

CMM – *Coordinate-Measuring Machine*

CPS – *Cyber-Physical Systems*

FA – *Final Assembly*

FIFO – *First-In, First-Out*

FTT – *First-Time True*

I4.0 – *Indústria 4.0*

IoT – *Internet of Things*

JIT – *Just-In-Time*

KPI – *Key Performance Indicator*

MIM – *Metal Injection Molding*

MIR – *Mobile Industrial Robots*

MFI – *Melt Flow Index*

MFR – *Melt Flow Rate*

MP – *Matéria-Prima*

OEM – *Original Equipment Manufacturer*

PN – *Part Number*

PCIS – *Plastic Computerized Integrated System*

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

PLC – *Programmable Logic Controller*

QPS – *Quality Process Sheet*

TCIS – *Thixo Computerized Integrated System*

TQM – *Total Quality Management*

TPS – *Toyota Production System*

VPN – *Virtual Private Network*

1 Introdução

A indústria, durante as últimas duas décadas, sofreu uma mudança de paradigma, fruto do mais recente degrau evolutivo do ponto de vista tecnológico. Com o crescente conhecimento digital a ser aplicado à produção, passou a ser possível extrair mais informação das linhas e, com isso, estudar os melhores meios de otimizar um processo de fabrico do ponto de vista de aumento de percentagem de peças com qualidade, diminuição dos desperdícios da linha de produção, entre outros [1].

Porém, nem todos os sistemas produtivos estão familiarizados com estes avanços tecnológicos, e é, partindo deste facto inicial que se desenvolve o presente trabalho. A necessidade de avanço tecnológico na linha de produção de injeção de plásticos da *Visteon Corporation*, Palmela, tendo em vista a competitividade do mercado, leva à necessidade de desenvolvimento de uma aplicação digital que melhore o desempenho da linha de produção em questões como: eficiência, produtividade, sustentabilidade e ecologia. Este projeto foi desenvolvido para a *Visteon Corporation*, em parceria com a *Rigorsoft* (responsáveis pela codificação do sistema). Posteriormente à verificação das condições iniciais e do aprofundamento do conhecimento global, pretende-se implementar um processo que agilize a comunicação entre equipas, contabilize a produção, armazene dados e permita, de uma forma mais intuitiva, eficaz e eficiente, estudar-se o processo da linha de produção em tempo real. Esta dissertação é desenvolvida partindo do desafio de melhoria de um sistema produtivo com evidentes ineficiências de processo, comunicação, documentação e análise. Partindo do pressuposto de que as ineficiências verificadas têm como raiz comum a falta de uniformização de processos com recurso a métodos analógicos, pretende-se eliminar os problemas existentes através de um sistema que proporcione a digitalização de procedimentos, para melhorar o desempenho e robustez dos mesmos. Esta implementação é precedida de uma análise detalhada aos processos existentes e respetiva correção de ineficiências detetadas com recurso a ferramentas *Lean*. Desta forma, quando se der a digitalização dos processos, o sistema produtivo está devidamente definido, assim como otimizado, ao nível dos mesmos, com o intuito de que não haja repetição de erros aquando da sua implementação automática.

Neste contexto, surge a necessidade de estudo das abordagens *Lean Manufacturing*. Através de estratégias de melhoria contínua, pretende-se que, com base em ferramentas existentes nesse modelo, se consiga aproveitar o conhecimento pré-existente para aumentar o valor do produto final [2]. Com o recurso às ferramentas *Lean*, pretende-se reduzir os desperdícios do sistema produtivo, tendo em vista a maximização dos recursos para a produção. A melhoria de resultados na produção pode refletir-se de diversas formas, sendo que, ao se efetuar um diagnóstico à linha é possível identificar e solucionar estas ineficiências. Estas podem ser representadas por identificação de defeitos críticos de produção, comunicação entre equipas deficitária, visualização de desvios na produção em tempo real e conseqüente redução de desperdícios resultantes deste tipo de melhorias paralelas, entre outras [3].

A dissertação presente incide sobre uma linha de produção bastante evoluída do ponto de vista *Lean*, mas completamente fundamentada em processos analógicos, pelo que se constatou nas observações realizadas. O trabalho desenvolvido tem o âmbito de, primeiro digitalizar e, em seguida, digitalizar a linha de produção. A digitalização é o processo de conversão de informação analógica em digital, enquanto que a digitalização é o aproveitamento dessa informação digital de forma automática para otimizar o processo. Existe ainda um terceiro passo digital. Designa-se 'transformação digital' e é focado na criação de negócio a partir das análises retiradas dos sistemas automáticos de informação digitalizada [4]. Porém, esse terceiro passo não reflete o propósito deste trabalho.

A digitalização da linha de produção será acompanhada não só das referidas ferramentas *Lean* para melhorar o seu desempenho, como também da implementação de uma aplicação digital que irá servir de base de apoio ao processo de injeção, sendo que esta, foi concebida especificamente para o caso de estudo em questão. O processo de injeção de plástico é tratado como secundário neste projeto, possibilitando a expansão do método de digitalização, aplicando-o a outros sistemas produtivos.

O foco principal é a implementação de uma aplicação capaz de fornecer a todos os colaboradores do sistema produtivo a informação necessária para a concretização das suas tarefas e possíveis correções ao processo, englobando ainda todas as ferramentas pré-existentes da linha de produção. Trata-se de uma aplicação que servirá para digitalizar toda a linha, desde matéria-prima a cliente, seguindo o fluxo de valor do produto, que agrega toda a equipa de produção (desde *Senior Manager* a Operador) e equipamentos utilizados no processo com possibilidade de transmissão de sinais. Tal transversalidade proporciona a integração futura da última revolução industrial. Caso das fábricas 4.0 e *Cyber-Physical System (CPS)*, que com a sua integração digital vertical, dispõem da comunicação entre dispositivos físicos e digitais que possibilita a melhoria de desempenho do sistema produtivo [5][6].

Tal proposta pode, no entanto, acarretar esforços imprevistos. Devido à inércia resultante de processos analógicos antigos, torna-se desafiante criar novas rotinas de trabalho-padrão, seja pelos obstáculos existentes no manuseamento digital pelas diferentes equipas, limitações do sistema, ou a lacuna de informação externa disponibilizada para casos similares [7][8]. Estas adversidades, por estarem inerentes ao processo de implementação, serão também abordadas ao longo do documento.

Como referido anteriormente, a falta de partilha de informação, devido a questões de confidencialidade, é uma adversidade a contornar. Porém, devido aos resultados obtidos na linha de produção de Plásticos, surge a possibilidade de expansão para outro caso de estudo. Esta oportunidade, cria a hipótese de definir uma abordagem concreta à transição digital de uma linha de produção, independentemente do produto.

Logo, serve ainda este documento para apresentar uma metodologia prática de implementação. Assim, torna-se possível a outro investigador com o mesmo intuito, ter diretrizes de implementação de aplicações industriais futuras. Este tipo de digitalização pode ser feita de forma independente do produto da linha de

produção. Então, para o caso de estudo tratado, o produto será tratado como secundário, de maneira a que seja criada uma análise transversal às indústrias, criando valor para implementações futuras de forma imparcial.

Após a corrente introdução, é abordada, no Capítulo 2, a Revisão Bibliográfica em que este trabalho se sustenta. Neste levantamento da literatura existente à data, são mencionadas as grandes revoluções industriais dos dois últimos séculos, com maior enfoque na 4ª Revolução Industrial. Os principais métodos de implementação utilizados no caso prático foram baseados em sistemas produtivos *Lean* e, portanto, também estes estão representados na literatura disponível. São também referidas as vantagens de implementação de ferramentas de Gestão Visual na avaliação da produção em tempo real, os obstáculos à digitalização e as possibilidades de conversão de sistemas *Lean* na Indústria 4.0 (I4.0).

No Capítulo 3, é apresentado e explicado o caso de estudo da linha de produção de injeção de plásticos da *Visteon*. Para isso, é necessário expôr o seu contexto empresarial, e de fluxo do produto – desde a matéria-prima, passando pelo processo e terminando no envio para cliente. Após a contextualização foi feito um diagnóstico global às ineficiências da linha. Esta secção é fundamental no documento em estudo pois é através do diagnóstico que, com o auxílio das ferramentas *Lean*, se consegue criar uma proposta de sistema digital que suprime as tais limitações existentes. Posteriormente, é descrito o processo de implementação digital, referindo os processos substituídos e os desperdícios removidos.

No capítulo seguinte é feita uma abordagem a um caso de estudo de uma linha de injeção de magnésio e apresentada uma proposta de metodologia de implementação de sistemas digitais, em sistemas produtivos. É também neste capítulo que é desenvolvido o conceito de limitações do próprio sistema, os problemas encontrados e a inércia observada devido à resistência à mudança. Dentro da própria fábrica, foi criada a necessidade de expansão da aplicação, desenvolvida para a linha dos Plásticos, devido aos resultados positivos obtidos. Como tal, serve o Capítulo 4 para apresentar uma metodologia de digitalização que possa ser transversal a qualquer linha de produção, independentemente do produto final. Este capítulo é baseado no caso de estudo dos plásticos, e sustentado na aplicação do sistema à linha de injeção de magnésio da *Visteon*. Ao ter-se dois casos de implementação, obtêm-se resultados mais fidedignos para implementações futuras.

Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões retiradas durante este estudo e são ainda feitas algumas propostas de desenvolvimento futuro, para uma melhor integração das ferramentas fabris.

2 Revisão Bibliográfica

Esta dissertação tem como foco a digitalização de uma linha de produção no contexto industrial. Como tal, serve este capítulo para apresentar um levantamento do conjunto literário existente acerca da evolução tecnológica desde a primeira revolução industrial, até aos tempos contemporâneos, no ramo industrial. Após a contextualização temporal, será efetuada uma descrição de sistemas produtivos *Lean* e ferramentas associadas aos tais sistemas. Tendo em vista o foco principal da digitalização, serão também apresentados livros com o tema relativo ao rumo a seguir até se chegar a modelos de produção da I4.0, baseados na descentralização de informação e os desafios encontrados durante a sua implementação.

2.1 *Lean Manufacturing*

O termo *Lean Manufacturing*, popularizado por Womack, Joss e Ross, é referente ao sistema produtivo que, fundamentado no modelo de produção da *Toyota (TPS)*, serve atualmente de base para os diferentes ramos da indústria [3][9][10]. No entanto, para se alcançar este sistema produtivo, tiveram de surgir avanços tecnológicos até se poder idealizar a produção de uma forma *Lean*. O desenvolvimento deste modelo de produção não teria ocorrido, caso a sociedade não estivesse tão evoluída do ponto de vista tecnológico e, também, devido ao contexto socio-económico em que surge [1][11].

Este progresso industrial, teve como principal ponto de partida a criação da máquina a vapor. Esta descoberta inglesa do início do século XIX, tornou-se a impulsionadora da 1ª Revolução Industrial. A possibilidade de sustentar a produção efetuada em maquinaria movida a água e vapor, proporcionou um crescimento abrupto de volume de produção e de possibilidades de aplicação tecnológica [12]. Desde a produção agrícola, de transportes, ou até têxtil, os avanços tecnológicos permitiram uma maior capacidade produtiva.

Posteriormente, no início do século XX, graças à eletrificação do meio industrial, e à introdução de tapetes rolantes eletrificados, surgiram as linhas de produção em massa, responsáveis pela 2ª Revolução Industrial [13]. Passou a conseguir-se produzir de forma exponencial, sendo o exemplo aplicado no modelo T da *Ford* o mais notório. Graças à padronização implementada por *Henry Ford*, foi-lhe possível inundar o mercado com produtos de qualidade, sendo que para tal alcançou uma percentagem menor de peças de defeituosas [14][15]. Esta constatação revelou uma possibilidade de aumento da quantidade de peças de qualidade produzidas através do recurso à repetição de processos.

Devido às necessidades sociais verificadas durante a II Guerra Mundial, e no período vivido no pós-guerra, surge a 3ª Revolução Industrial, sustentada no desenvolvimento tecnológico evidenciado nessa época, ao

nível de maquinaria, sistemas produtivos e de transportes. Na segunda metade do século XX, propalado pela energia nuclear, começou-se a utilizar industrialmente, de forma massificada, as potencialidades da eletrônica. Através do desenvolvimento tecnológico na área dos transístores e microprocessadores, surgiram mais e melhores computadores, assim como serviços de telecomunicações. Estes serviços foram aproveitados na indústria com o desenvolvimento de autómatos e robots.

Suportado pelo desenvolvimento referido, surge o conceito de *Total Quality Management (TQM)* na década de 50 nos Estados Unidos da América, e é neste que o TPS se baseia [16][17]. Como mencionado anteriormente, um dos fatores determinantes para este avanço foi a crise económica vivida, mas também a globalização e crescente competitividade mundial. Consequentemente, as empresas apostaram na computadorização e automação de processos, como abordagem de resposta às circunstâncias ocorrentes. Com o crescente desenvolvimento tecnológico, reduziu-se o número de pessoas nas linhas de produção em postos de trabalho de baixo impacto, sendo substituídos por autómatos e robots [13][18]. Estas mudanças vão de encontro à mentalidade prevista no TPS, devido à redução de erros e otimização de processos. Contudo, a implementação destas alterações deve-se ao enorme potencial de padronização e integração de informação obtidos através dos *Programmable Logic Controllers (PLC)* – quadros de sinais, que através de linguagens lógicas permitem programar cadeias de acontecimentos – presentes nestes autómatos [19].

O TQM parte do princípio que a gestão da empresa está diretamente relacionada com a qualidade do produto final, o seu desenvolvimento e manutenção [20]. Logo, com este modelo, cria-se uma estrutura abrangente aos diferentes setores empresariais de delegação de poderes, tendo em vista a eliminação de erros e desenvolvimento dos recursos humanos existentes [20][21]. É através deste sistema que se introduzem algumas das ferramentas que foram mais tarde popularizadas pelo TPS e o *Lean Manufacturing*, como os ciclos de melhoria contínua *Plan-Do-Check-Act (PDCA)* ou os mecanismos de prevenção de falha *Poka-Yoke* [16][20][22]. Estas ferramentas são aprofundadas na secção 2.1.2 da dissertação.

Apesar do TQM ter surgido nos Estados Unidos da América, a *Toyota*, foi das primeiras a usar este modelo empresarial [16][22]. Melhorando a sua produção ao basear-se num sistema que tem como propósito a eliminação do defeito na origem, redução de desperdícios e melhoria da eficácia e eficiência dos recursos e processos, de forma a alcançar a subsistência da empresa [11][17]. Ao longo da década de 60, esta filosofia foi aprofundada, dando origem ao TPS, pela mão de *Taiichi Ohno*, em 1973 [17][23]. Independentemente do TPS ter partido do TQM, tornou-se mais transversal a todo o processo empresarial, desde a gestão de topo até ao processo.

Perante a evolução tecnológica referida anteriormente, e baseando-se no sistema TPS, *Womack e Jones* definiram no seu livro (*The Machine who changed the World*), o modelo de produção *Lean*, uma derivação do TPS que, com o tempo, ganhou a sua própria identidade [9]. Esta metodologia de gestão empresarial

organiza as operações, maximizando o fluxo de valor para os clientes, minimizando os desperdícios existentes em todas as áreas da organização e do processo [24]. Devido à crescente necessidade de melhoria de resultados empresariais, o modelo *Lean* foi replicado a nível global, passando a ser uma das bases das boas práticas profissionais ao nível de competitividade, qualidade e de política de redução de desperdícios [2][9].

2.1.1 Princípios *Lean Manufacturing*

Como referido na secção anterior, o princípio base do *Lean Manufacturing* compreende a redução de desperdícios, proporcionando análises contínuas com vista à melhoria de processos [25]. Por conseguinte, para alcançar tais resultados, é determinante o cumprimento de critérios estabelecidos. O *Lean* dispõe de 5 pilares que permitem aos colaboradores reconhecer e depurar as imperfeições do processo [2][26]. Primeiro, deve-se classificar o valor do produto. É feita a identificação do que o cliente se dispõe a pagar pelo produto (e as suas características), sendo que tudo o que não for identificado pelo cliente como essencial, é visto como desperdício. Posteriormente, é preciso identificar o fluxo de valor, traduzindo-se na realização do levantamento das operações necessárias à concepção do produto final, definindo quais as indispensáveis, e quais acrescentam valor. O terceiro pilar pretende definir o fluxo de produção, com isto, todos os processos até ao acabamento final estão alinhados, para que se reduzam as perdas entre os mesmos. Em seguida, deve-se implementar um sistema *pull*, pois, ao produzir consoante os pedidos de cliente, a necessidade de *buffer* diminui, assim como áreas de armazenamento necessárias (entre outros recursos). Por último, a mentalidade de procura pela perfeição, para melhorar os processos de forma contínua, em busca do melhor desempenho de produção possível, com uma política de zero defeitos.

No entanto, o *Lean* não se baseia apenas na melhoria contínua dos processos. Com a sua implementação, acresce por conseguinte o surgimento de uma nova filosofia empresarial, tendo em vista a satisfação do cliente. Para que os processos e componente prática do negócio (*hard factors*) sejam melhorados, então também os comportamentos dos colaboradores e líderes (*soft factors*) devem acompanhar esta evolução [27][28]. Apenas com esta mudança de mentalidade transversal ao negócio presente, é que se obterão resultados a toda a escala. Sendo que, por vezes, é até nos *soft factors*, que se encontram maiores dificuldades de implementação, devido à resistência à mudança [7][29]. Para que tal não aconteça, é preciso valorizar todos os colaboradores e utilizar as ferramentas disponíveis neste sistema de produção, tornando o progresso visível. Este tipo de abordagem pode encadear uma cadeia de acontecimentos positivos, facilitando a mudança de filosofia [8].

Uma forma simplificada de se perceber a abrangência do *Lean Manufacturing* e as ferramentas à disposição, é através da Casa *Lean*. A Casa *Lean* é um esquema que organiza e estrutura as áreas de

impacto do sistema em estudo. Devido à sua aplicabilidade, e simplicidade de compreensão, tornou-se um símbolo inerente ao *Lean* [30][31].

Tal como numa casa real, são necessários alicerces estáveis e fidedignos. Então, na base da Casa *Lean*, encontram-se as normas padronizadas de processos, qualidade, segurança e de gestão de espaços. A juntar aos elementos que se pretendem constantes, figuram ainda o nivelamento de produção (*Heijunka* – que irá contribuir para a estabilidade de inventário, carga de trabalho aos colaboradores e produção), bem como a Estabilidade [31][32].

A sustentar o telhado, situam-se os dois pilares *Just-In-Time (JIT)* e *Jidoka*. O JIT consiste na produção *pull*, fluxo contínuo da produção (através dos métodos 5S), estipulação de planeamento e cumprimento deste, acompanhando o tempo de ciclo, como referência. Contudo, o *Jidoka*, prende-se à ideia de deteção de erros na origem (5 *Whys* e PDCA), correção destes de forma definitiva (*Poka-Yoke* e PDCA), a garantia de qualidade em todas as etapas do processo e a Gestão Visual (ferramenta que é abordada na secção 2.1.3) [30].

No telhado deste esquema alegórico (Figura 1) encontra-se o foco na satisfação do cliente. Para que, no interior da casa, exista uma mentalidade de melhoria contínua através da constante redução de desperdícios (*Muda, Mura, Muri*), além do trabalho, envolvimento e valorização de todas as equipas e colaboradores.

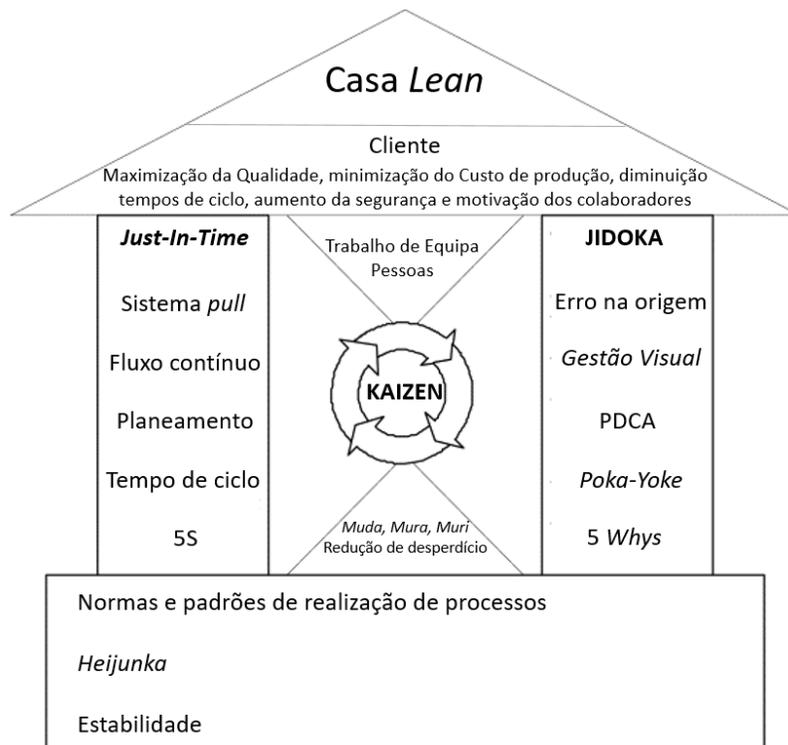


Figura 1: Adaptação da Casa *Lean* [30][31][32]

2.1.2 Ferramentas Lean Manufacturing

Uma das lógicas mais comuns no *Lean* envolve a organização do espaço de trabalho, com o intuito de melhoria da eficiência dos trabalhadores afetados. Esta lógica designa-se 5S, e divide-se em 5 ramificações [29]. Primeiro, define-se e seleciona-se o equipamento necessário às boas práticas de trabalho (*Seiri*). Após a definição do material essencial, há que saber alocar cada equipamento à área em que será recorrentemente mais utilizado e devida identificação (*Seiton*). Nesta ótica, a limpeza torna-se essencial para as práticas profissionais adequadas (*Seiso*). Posteriormente, deve-se definir padrões de limpeza e arrumação, mantendo presente nos postos de trabalho indicações acerca das responsabilidades do colaborador na sua manutenção (*Seiketsu*). Por último, a disciplina incutida aos trabalhadores no brio pela sua área de trabalho, que pode ser imposta através de auditorias periódicas (*Shitsuke*) [37] [38]. Após realização do ciclo de identificação de valor e desperdício, deve-se pôr em prática a otimização do processo. Para tal, recorre-se às ferramentas *Lean* existentes para melhoria contínua.

Como referido anteriormente, durante o ciclo de identificação de valor, ficou definido o que é considerado desperdício. Contudo, neste modelo, existem várias maneiras de catalogar o desperdício. Segundo a literatura disponível, existem três categorias de desperdício que não contribuem para o valor do produto: *Muda* (desperdício no processo), *Mura* (desnívelamento) e *Muri* (sobrecarga) [30][33]. Relativamente ao *Mura* e *Muri*, não existe qualquer sub-categoria definida, até à data. O *Mura* refere-se à falta de padronização de alimentação das linhas de produção, que poderá resultar em desperdícios do tipo *Muda*. Já o *Muri*, refere-se a sobrecarga no processo, ou recursos existentes (sejam humanos, matéria-prima, ou equipamento) [2]. Relativamente ao desperdício *Muda*, por ser de processo, pode ainda ser sub-categorizado de 7 diferentes maneiras, segundo *Ohno* [23]. Que se transformaram em 8, após revisão de *Liker*, em 2004 [31], como demonstrado na Tabela 1 [34].

No âmbito de mecanismos de melhoria contínua, surge uma ferramenta que advém do sistema TQM, os ciclos de melhoria contínua PDCA. Este sistema de avaliação, incute ao trabalhador a capacidade de planear (*Plan*) uma alteração, executá-la (*Do*), verificar os seus resultados (*Check*) e, na eventualidade de estes serem positivos, expandir a alteração de forma a padronizar a operação (*Act*) [33]. A análise das causas raiz dos problemas a resolver, é feita segundo as metodologias de 5 *Whys* ou através de diagramas de *Ishikawa*. Desta forma consegue-se aprofundar a raiz das falhas e todas as repercussões que podem gerar. Ao ser feita a apuração de todas as imperfeições, podem-se resolver, não só as fontes de problemas, como outras imperfeições expostas pelas análises efetuadas [16][34]. Estes procedimentos, incutem nos colaboradores os *soft factors* que se pretendem ser constantes na cultura da empresa.

Também na lógica da melhoria contínua, existem os *Kaizen* – palavra japonesa traduzida literalmente para ‘mudança para melhor’. Este recurso de troca de ideias serve para progredir diariamente tendo como objetivo comum o benefício da empresa [35]. Estas ideias podem ser aplicadas na transversalidade do

negócio: desde a logística, à redução de tempo de transporte de peças, mudanças no processo de manufatura, cortes em gastos desnecessários, melhoria de condições de trabalho das equipas, entre outras [36].

Tabela 1: Diferentes tipos de desperdício *Muda* e suas características

Tipos de <i>Muda</i>	Descrição
Transporte	Movimentações desnecessárias de matéria-prima ou produtos entre postos de trabalho. Os <i>layouts</i> devem ser pensados de forma a reduzir este desperdício.
Inventário	Excesso de <i>buffer</i> provoca o sub-aproveitamento das áreas de armazenamento, e falta de rotação das matérias-primas ou produtos. O mais próximo de <i>pull</i> , possível.
Movimentação	Movimentos sem valor acrescentado para operadores ou equipamento. Os programas e <i>layouts</i> devem ser otimizados para só haver movimentos essenciais.
Espera	Desperdícios por inatividade, seja esta devido a falta de matéria-prima, operador, indisponibilidade de equipamento... Casos de falta de organização de produção.
Processamento	Operações supérfluas, que não acrescentam valor ao produto. Uso indevido de equipamentos, ou do processamento das matérias-primas.
Sobreprodução	Desperdício devido a produção feita em excesso. Ocorre em casos de falta de comunicação de prazos, ou produção em volumes excessivamente elevados.
Defeitos	Produtos que não cumprem os desígnios de cliente, que podem incorrer em falha de produção ou retrabalho de peças. Erros de projeto, equipamento, humanos...
Talento	Subvalorização das capacidades dos colaboradores na evolução produtiva. Em situações cuja filosofia <i>Lean</i> não esteja enraizada do ponto de vista de <i>soft factors</i> .

Para medidas de prevenção de erros, pela informação recolhida, deve-se recorrer às técnicas de *Poka-Yoke*. Trata-se de um mecanismo de defesa para os processos, que visa salvaguardar o valor do produto final [35]. São *Poka-Yoke*, todos os sistemas que bloqueiam o processo caso não sejam devidamente efetuados. Podem ser representados por encaixes físicos de peças, impulsos elétricos em sistemas, entre outros, e com a sua implementação, diminuem-se não só os defeitos, como também a necessidade de retrabalho da produção [25].

2.1.3 Gestão Visual

Esta dissertação desenvolveu-se em torno do tema central de digitalização de uma linha de produção. Como tal, a grande maioria dos processos passam a estar expressos numa maneira mais clara e intuitiva, servindo-se das técnicas de Gestão Visual (ou *Andon*). Devido à importância que esta ferramenta específica do *Lean Manufacturing* tem no presente caso de estudo, optou-se por abordá-la de forma separada das demais.

Assim, como *Galsworth* enunciou, um posto de trabalho visual deve ser intuitivo, automaticamente ajustável, regulado e melhorado – onde o que é suposto acontecer, acontece no momento exato em que é esperado acontecer, de forma programável – graças a sistemas de gestão visual [36].

A Gestão Visual tem como principal propósito potenciar a transparência, sendo que a informação disponibilizada está dividida em quatro categorias: indicadores, sinais, controlo e garantias. A informação tem de ser expressa intuitivamente, como tal, aquando da sua implementação, é importante recorrer a ferramentas 5S, eliminando informação desnecessária [37][38]. Caso exista a possibilidade de integrar a gestão visual digitalmente, esta integração deve ser feita, pois é uma tecnologia fidedigna que pode até fornecer dados em tempo real. No entanto, caso não haja qualquer tipo de digitalização posterior, é necessário que a implementação utilize ferramentas *Lean* para que se consiga extrair o melhor proveito do sistema produtivo possível. É importante que, aquando do processo de digitalização, não se transportem erros provenientes de processos analógicos, para que não se tornem sistemáticos. Assim, permite-se a integração futura em *Cyber-Physical Systems (CPS)* e na *Internet of Things (IoT)*, com o menor nível de entropia possível.

Devido à complexidade inerente a cada ramo industrial, os elementos de Gestão Visual devem ser criados pelas próprias empresas [43]. Uma das técnicas é a aplicação de quadros de Gestão Visual. Através de quadros destinados a apresentar informação de forma normalizada, a transmissão de informação entre equipas torna-se mais fluída. Estes quadros podem ser analógicos, digitais (televisões, computadores) e até portáteis (*tablets, smartphones*). Contudo, é crucial serem intuitivos e claros. Para que um quadro de gestão visual possa ser considerado adequado às práticas profissionais deve incluir o estado das linhas de produção, esquemas de cores que facilitem a sua interpretação e designação de tarefas entre equipas.

Além disso, estes certificam que a comunicação necessária entre equipas é garantida, para que a produção decorra sem obstáculos e que a informação seja visível a longas distâncias [39][40].

Os fatores de desempenho da produção são normalmente designados por *Key Performance Indicators (KPI)* e, apesar de não serem instrumentos exclusivos à prática de gestão visual, devem constar nos quadros representativos [40]. Alguns destes parâmetros não acrescentam valor às equipas de produção, ou às de gestão, logo os KPI apresentados em cada quadro devem ser escolhidos tendo em conta a necessidade das equipas a que são dirigidos [41]. Os KPI devem ser definidos em função de valores estipulados para se conseguir avaliar o comportamento da produção e, posteriormente, melhorar o seu desempenho.

2.1.4 Indústria 4.0

As revoluções industriais e sistemas produtivos, detalhados previamente, levaram ao crescente desenvolvimento tecnológico industrial. Dado que a era contemporânea tem seguido cada vez mais o rumo da integração digital nas mais diferentes áreas, também o mesmo se tem verificado no ramo fabril.

Como tal, surge na última década, em *Hannover*, o movimento conotado como I4.0 [5]. Trata-se da mais recente revolução industrial e, uma vez que ainda está a decorrer, ainda não há uma perspectiva do real potencial deste movimento. Este avanço tem como principais forças motrizes os CPS, IoT, produção pela *Cloud* e manufatura inteligente, que definirão os 9 Pilares da I4.0, dando origem a *Smart Factories* [42][43]. Os 9 Pilares da I4.0 são: análise *big data*, computação em *Cloud*, impressão 3D, integração de sistemas, IoT, realidade aumentada, robots autónomos, segurança cibernética e simulação. É através destas ferramentas que se consegue obter processos de manufatura inteligente, melhorando o desempenho dos equipamentos e, conseqüentemente, a qualidade do produto final.

O princípio fundamental dos CPS é a conexão de operações físicas com infraestruturas digitais [44]. Ao contrário de sistemas integrados (que estão programados para funcionar de forma independente), os CPS estão desenhados para aglomerar uma grande quantidade de dispositivos [45]. São sistemas que consistem num controlador de sensores ativados pelo processo real, que irá agregar a informação recolhida e transmiti-la aos utilizadores por intermédio de interfaces digitais [44][45]. Havendo a possibilidade de integração dos dispositivos inerentes ao sistema na *Internet*, passa-se a ter um conjunto de equipamentos com a capacidade de comunicar entre si de maneira rastreável, em tempo real, com capacidade de transmitir informação consoante os sensores existentes nos equipamentos disponíveis [5]. Havendo a possibilidade de interligar equipamentos, sensores e sinais emitidos através da IoT, é então criado um vasto potencial da compreensão do sistema produtivo, a sua preditibilidade e *inputs/outputs* associados ao processo.

No entanto, através do levantamento bibliográfico efetuado, constata-se que, para alcançar este degrau evolutivo, a produção deve inicialmente servir-se do modelo produtivo *Lean*. Desta forma garante uma maior versatilidade no processo e pode aumentar o nível de maturidade *Lean*, caso ainda não esteja implementado [6][43][46]. Tanto o *Lean*, como a I4.0, partilham a finalidade de acrescentar valor ao produto através de simplificação de processos. Esta simplificação de processos é sustentada por ferramentas de IoT horizontais – transversais à indústria – o que leva à padronização de processos, com comunicação permanente entre dispositivos. Ao haver esta constante partilha de informação descentralizada, surge ainda espaço para implementação de ferramentas IoT verticais – características a um processo ou cliente – melhorando o desempenho de um sistema produtivo através da sua personalização. Então, torna-se possível a conjugação de aumento do valor de produto e simplificação de processos, através do recurso à digitalização. Procedendo à conversão do processo desde o analógico ao digital, tendo como objectivo final a redução do poder de decisão, para que o nível de acerto de decisão seja aumentado com recurso à automatização e descentralização da mesma [47][48]. Automatizar processos coloca-os fora do raio de ação direto do Homem, sendo mais eficaz fazê-lo quando estiver devidamente otimizado. Consoante o nível de maturidade *Lean* de um sistema produtivo, abre-se a possibilidade de implementação da I4.0. Caso não esteja devidamente otimizado, irá amplificar as ineficiências existentes, o que torna essencial a utilização de ferramentas *Lean*, para que não se incorram em erros sistemáticos, aquando da transição para processos descentralizados com tomada de decisão automática [38].

2.1.5 Limitações e resistência à mudança

Apesar da digitalização de sistemas produtivos *Lean* ser vista como um processo evolutivo natural, apresenta imperfeições. É certo que qualquer implementação sofre iterações de melhoria contínua, assim como é certo que os próprios sistemas têm as suas limitações.

Primeiro, deve-se investigar as possibilidades de integração do processo. Seguidamente, a tecnologia disponível, e a hipótese de conciliação de ambos. Finalmente, a viabilidade de integração de nova tecnologia que supra as necessidades da linha [49].

Através da automatização, é possível eliminar processos manuais, passando estes a ser executados por robots, sensores, ou no próprio sistema (comunicação máquina-máquina). Contudo, existem sempre procedimentos físicos que exigem intervenção humana. Esses não poderão ser eliminados, mas podem ser implementados procedimentos intermédios (o menos invasivos possível) para que consigam ser rastreados e inseridos em sistema (comunicação homem-máquina) [10].

Existe, ainda, uma limitação de grande impacto na implementação de sistemas *Lean* e, posteriormente, integração na I4.0. Trata-se da falta de disponibilidade de adaptação, por vezes demonstrada pelos colaboradores. A resistência à mudança é um fenómeno psicológico abordado em diversos estudos, por

ser comum e inerente à mente humana [7][8][50]. Sendo a alteração de cultura empresarial algo tão preponderante, é normal que se adotem medidas para minimizar os seus efeitos.

Segundo *Baker*, a mudança empresarial pode adquirir diferentes formas [51]. Pode tratar-se de uma mudança física, representada por alteração de instalações, novos equipamentos, métodos de trabalhos, entre outras. Mudança lógica, devido a ajustes de metas ou objetivos. Também existem casos de mudanças estruturais, representados por novos cargos ou reestruturação organizacional. Finalmente, existem ainda as mudanças comportamentais, que pode ser o tipo de mudança mais difícil de implementar, e mais a longo prazo [51].

O trabalho desenvolvido no presente documento, refere uma mudança transversal a todos os tipos de mudança descritos. Logo, trata-se de uma implementação que tem de ser ponderada, para ocorrer da forma menos sinuosa possível. O sucesso de uma alteração tão nuclear depende sempre da colaboração de toda a equipa. É, então, imprescindível envolver os colaboradores para que, através do seu contributo, melhorem o sistema e se mantenham motivados [7][51]. Existem estudos que comprovam que quando uma sugestão feita por um colaborador é implementada, o nível de comprometimento (da pessoa que sugeriu) aumenta, assim como a sua vontade em melhorar novos procedimentos [16]. De maneira generalizada, a tendência é para que cada pessoa tenha maior aptidão para melhorar o que o envolve, pois lida diariamente com as imperfeições do posto de trabalho. Em situações que consegue verificar que a sua ideia foi, não só ouvida, como também implementada – melhorando as suas condições de trabalho – a pessoa irá, por si, procurar outros defeitos até serem extintos. Porém, nem todas as pessoas têm a mesma vontade de envolvimento profissional, ou reação à mudança.

Convém, então, ter presente as causas raiz da resistência à mudança, para que quando estas surjam, se saiba como abordar o tipo de contestação a enfrentar. Para *Kotter e Schlesinger*, existem quatro categorias de problemas gerados num indivíduo aquando do confronto à mudança: interesse próprio, falta de compreensão e confiança, discórdia de opinião e baixa tolerância à mudança [52]. A fim de se reduzir estas desconfianças, devem ser utilizadas ferramentas como a educação, participação, mediação, negociação e coerção.

A educação do sujeito em causa deve ser utilizada através de uma comunicação simples das alterações que serão efetuadas e a explicação do seu porquê. Assim, consegue-se persuadir as pessoas a mudar sem grandes consternações. Com a participação na mudança, os principais resistentes à mudança são absorvidos na contribuição desta pela sua envolvimento no processo, para que ocorra naturalmente e com baixa incidência de atritos. Porém, quanto mais contributos, mais difícil se torna a conciliação de todas as ideias, que podem até não abranger a visão global do intuito da mudança. Na mediação, o treino efetuado ajuda não só na educação relativamente à mudança, como à de formação de pessoas-chave, para posterior passagem de informação às equipas. Este método incute elevada responsabilidade, motivação e confiança na capacidade de liderança das tais pessoas-chave, porém, dispense muito tempo e pode até

ser contraproducente, em caso de insucesso. Pela negociação, sugere-se a mudança, havendo compromissos entre equipas e deve apenas ser utilizado quando colocado em causa o agravamento das condições dos trabalhadores. Caso seja aplicado noutras eventualidades, pode passar a haver um aproveitamento por parte das pessoas envolvidas nessa mudança, em ocasiões distintas. Por último, a aplicação da coerção surge em circunstâncias de necessidade de mudança imediata. Dado que o uso de coerção é visto como chantagem psicológica, poderá afetar o respeito que as equipas sujeitas à mudança têm no agente responsável pela sua aplicação. Por conseguinte, deve ser uma medida utilizada apenas como último recurso [7][52].

Para se garantir uma rápida interiorização nas equipas para as quais as mudanças foram concebidas, deve-se fazer um bom planeamento. Dessa forma, a maioria do tempo dispendido será colocado na fase de concepção. Esta fase não exige tanto envolvimento de pessoal e a resistência enfrentada é menor. No entanto, caso o próprio agente da mudança seja leigo no processo, é preferível que seja envolvido pelos contributos das diferentes equipas afetadas, o que pode levar à lentidão de implementação. Por um lado, desta maneira, irá ser enfrentada mais resistência devido ao maior contacto interpessoal, contudo o processo pode ganhar mais robustez nos detalhes e o agente da mudança ganha notoriedade e aceitação com o decorrer da implementação [52]. É importante que não haja descredibilização do processo, logo, o responsável pela alteração, deve utilizar a resistência à mudança para aumentar o sucesso de execução e revertê-la em proveito próprio [53]. Segundo *Ford*, antes de ser posta em prática qualquer modificação, deve ser apresentada às pessoas diretamente afetadas por estas. Assim, garante-se que se sabe o que se pretende implementar, como se irá proceder e consegue-se avaliar os principais resistentes à mudança. Após a explicação das intenções com a alteração em mãos, deve-se mostrar abertura para com as propostas de iteração à mudança. E, com esse envolvimento das pessoas, estas sentir-se-ão mais receptivas à mudança, pois elas próprias irão fazer parte desta. No decorrer do uso desta lógica operacional, torna-se, ainda, perceptível o porquê da resistência levantada por alguns colaboradores, tornando assim evitável em situações futuras [53].

3 Caso de Estudo

Este capítulo é dedicado à apresentação do caso de estudo da linha de produção de plásticos da *Visteon Palmela*. Em primeiro lugar é feita a contextualização do setor industrial, da companhia e da área de manufatura de peças em plástico. Posteriormente, é elaborado um diagnóstico das ineficiências da linha de produção através de observação detalhada, comunicação inter-equipas e recorrendo a ferramentas *Lean* de análise. Finalmente, é apresentada uma proposta de sistema digital que abranja todas as equipas, processos e que, por intermédio da Gestão Visual, agregue toda a informação, expondo-a de forma intuitiva.

3.1 Contextualização do caso de estudo

Esta dissertação tem como base o exemplo da linha de produção de peças plásticas da *Visteon Palmela*.

A *Visteon Corporation* é uma empresa de desenvolvimento e manufatura de componentes electrónicos para automóveis. Previamente chamava-se *Ford Electronics*, pois inicialmente era uma empresa paralela à *Ford*. Com o crescimento de negócio, tornou-se possível produzir componentes para outros *Original Equipment Manufacturer (OEM)*, sendo que é nessa altura que a *Visteon* nasce. A partir daí as oportunidades de negócio surgiram de forma natural e cimentou-se como uma empresa de renome na produção destes elementos, tornando-se a líder de mercado do setor. Atualmente, no mercado global de *Clusters*, apresenta uma quota de mercado de 17%, de acordo com dados recolhidos internamente.

Uma das grandes responsáveis por este domínio é a fábrica portuguesa, em Palmela. Esta fábrica tornou-se progressivamente a fábrica com maior volume de negócio e qualidade do produto de toda a companhia. Devido à capacidade e qualidade de produção verificada em Palmela, é nesta que recai a decisão da companhia aquando da escolha de negócios para as OEM ou produtos de maior exigência. Graças ao nível de confiança adquirido junto dos clientes e à integridade profissional incutida, esta é a fábrica global com melhores resultados.

A fábrica produz, maioritariamente, *Clusters* e *Displays* automóveis – conjuntos de peças estruturais e electrónicas responsáveis pela apresentação de informação aos passageiros no *cockpit*. Para proceder à manufatura destes conjuntos, a fração da fábrica dedicada a esta atividade está dividida em cinco áreas: Plásticos, *Thixo Molding*, *Board Preparation*, *Pre-Assembly* e *Final Assembly*. Os Plásticos são o foco desta dissertação, sendo abordados mais detalhadamente ao longo do documento. No *Thixo Molding*, são produzidas peças por injeção de magnésio, tendo por base princípios de *Metal Injection Molding (MIM)*, geralmente responsáveis pela estrutura e robustez do conjunto. No *Board Preparation* são feitas as placas

com os devidos componentes eletrônicos, sendo estas as responsáveis pelo funcionamento do produto final no que a *software* concerne. O *Pre-Assembly* é a área mais pequena da fábrica e dedica-se principalmente a soldaduras de peças para envio de sub-conjuntos simples com destino ao *Final Assembly*. É então no *Final Assembly* que a montagem do conjunto é feita, a fim de remessa para as respetivas OEM.

Na fábrica de Palmela existem ainda áreas de suporte ao produto final, como as equipas de Qualidade, Logística e de Desenvolvimento de Produto. Assim como equipas dedicadas a funções empresariais como as de Segurança e Saúde, Recursos Humanos, Contabilidade e *New Business*.

A área dos Plásticos é composta por uma equipa que integra entre 60 a 75 pessoas, divididas em 3 turnos para funcionamento 24 horas diárias, pelo menos 5 dias por semana. As pessoas estão organizadas por: *managers*, equipa de Engenharia, técnicos (injeção, *tool-room* e manutenção), coordenadores, operadores, abastecedores e responsáveis de matéria-prima – Figura 2.

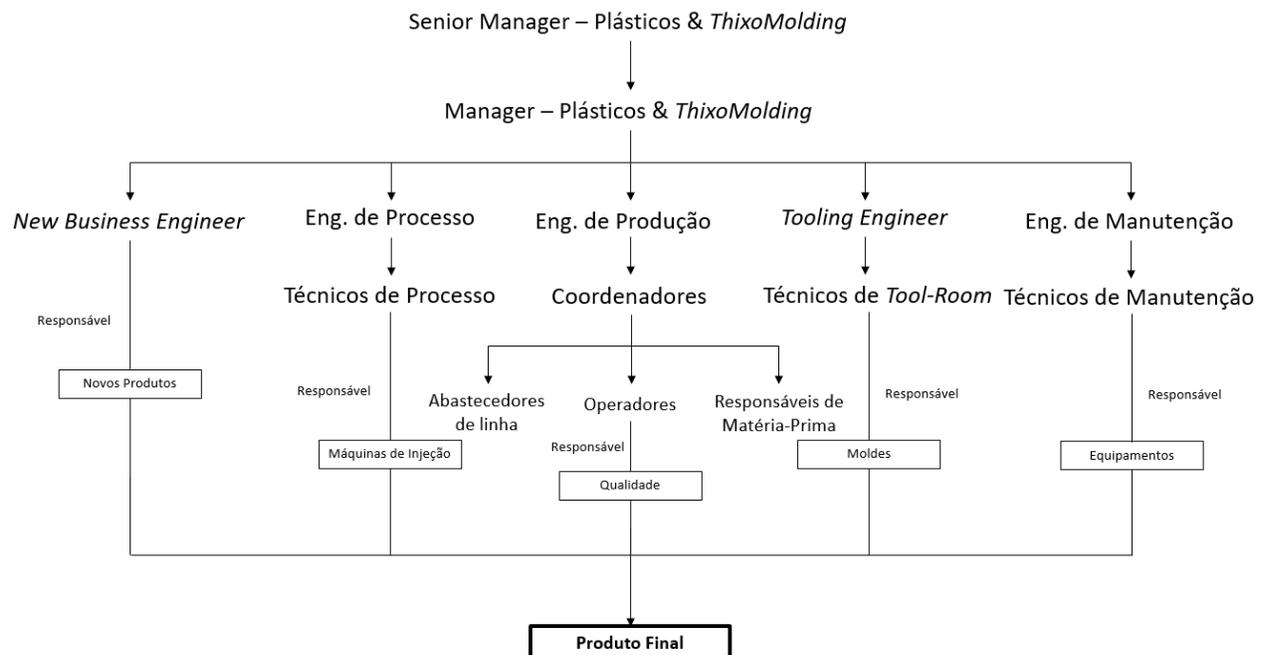


Figura 2: Esquema hierárquico e respetivas responsabilidades individuais em função do produto final

Na linha de produção, existem 30 máquinas de injeção, com os respetivos equipamentos periféricos acoplados e cerca de 250 moldes para injeção de plástico. Além da zona de injeção, existem ainda áreas de trabalho relevantes: o Escritório (onde a equipa de Engenharia trabalha), a *Tool-Room* (área dedicada a manutenção de equipamentos, moldes e ferramentas), o Armazém de Matéria-Prima (onde é recebida e armazenada, para posterior encaminhamento ao processo) e o Armazém de Peças (zonas dedicadas a armazenamento de peças dentro da própria área).

O esquema desenvolvido na Figura 3, demonstra a realização de um ciclo de produção comum, desde matéria-prima (MP) ao envio para cliente. Esta metodologia lógica é importante, pois desta obtém-se a percepção direta dos processos inerentes à manufatura e simplifica a informação a transmitir.

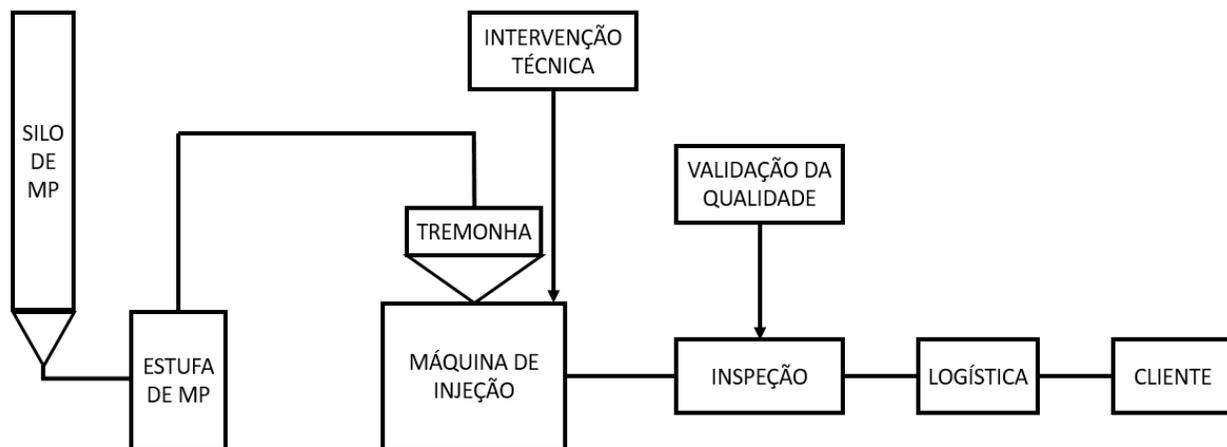


Figura 3: Esquema dos passos inerentes ao sistema produtivo de injeção de plásticos

A MP é recebida pelos seus responsáveis na doca do armazém respetivo. Após validação do material recebido, deve proceder-se à sua arrumação. Quando for requisitado, este será colocado na estufa correspondente, para ser encaminhado à máquina de injeção respetiva, com os níveis de temperatura e humidade estáveis, essenciais ao processo.

A máquina recebe o material na tremonha devido à circulação de MP na tubagem existente, sendo que é a partir daí que é inserido no fuso da máquina. Neste, a MP adquire a temperatura do processo e é injetada no molde. Após o arrefecimento da peça, esta é extraída pelo molde, sendo que o robot da máquina manipula a peça para a colocar no tapete rolante eletrificado adjacente. Então, é avaliada a qualidade da peça pelo operador alocado à estação de trabalho, sendo que é também este o responsável pelo correto empacotamento da peça. Quando a caixa estiver completa, coloca-se num carrinho para cliente.

Os abastecedores de linha são responsáveis pela entrega de caixas vazias aos postos com máquinas de injeção em funcionamento. São ainda os responsáveis por, quando os carrinhos de caixas estiverem cheios, darem entrada das peças em sistema *WARE* (sistema interno da *Visteon* de arrumação e organização logística) e colocá-los na localização adjudicada. Esta localização, para peças plásticas, pode ser na área de Armazém de Peças na linha dos Plásticos, ou noutros locais da fábrica, consoante a peça.

As restantes equipas servem de suporte ao processo para que este decorra de forma normal e, acima de tudo, com qualidade. Os coordenadores ajudam a organizar as equipas da linha consoante as necessidades da produção. Os técnicos de injeção são responsáveis pela estabilização do processo,

correção em caso de variações e *changeovers* (troca de moldes). Os técnicos de *Tool-Room* devem fazer manutenção preventiva e corretiva aos moldes, quer ao nível de resposta imediata na máquina para minimização de perdas, quer de resposta a longo prazo na *Tool-Room*. Os técnicos de manutenção têm o trabalho de garantir que todas as máquinas de injeção e equipamentos paralelos funcionam conforme o desejado. Ainda existe outra equipa não referida anteriormente que funciona paralelamente ao processo, mas que contribui positivamente para o decorrer normal da produção: a Qualidade. Esta equipa, como o nome indica, assegura periodicamente a qualidade de todas as peças produzidas, para salvaguarda da produção.

A equipa de Engenharia é composta por 6 engenheiros, com diferentes funções, responsáveis por diferentes equipas (Produção, Processo, *Tool-Room* e Manutenção) e equipamentos/ferramentas, como constatado anteriormente na Figura 2. Os *Managers* estão encarregues da parte organizacional e financeira da produção.

3.2 Diagnóstico da Linha de Produção

Para se conseguirem abordar as imperfeições da linha de produção, detetando-as na sua raiz, deve ser feito um diagnóstico à linha. Como tal, efetuou-se este levantamento através do acompanhamento dos colaboradores em todas as micro-tarefas inerentes ao processo. Assim, pretendeu-se identificar ineficiências a ser corrigidas através do recurso a ferramentas *Lean*. Isto para que se consigam implementar procedimentos digitais que facilitem o trabalho de todos e garantam a sua execução eficientemente.

Surge então a necessidade de deslocação ao local de origem dos possíveis problemas. Esta análise, suportada nos princípios *Lean*, designa-se por *Gemba Walks* [30][54]. É feito um deslocamento às áreas de processo, de maneira a conseguir compreender o seu decorrer natural em tempo real. Esta observação foi comunicada às equipas e segue uma lógica de fluxo de valor, desde MP a cliente, com ênfase nos processos de manufatura, assim como nos que são realizados pelas pessoas que compõem as diferentes equipas de produção.

Os *Gemba Walks* foram feitos em todos os turnos, para se ter uma perspetiva real do desempenho entre equipas. Durante estas sessões não foram feitas intervenções junto dos colaboradores, para minimizar as interferências provocadas pela supervisão. Serve esta secção para documentar o trabalho desempenhado no *Gemba*, e o que se verificou de relevante.

3.2.1 Identificação de Ineficiências

Compete ao responsável da MP tudo o que envolva a mesma, desde a sua recepção até à entrada em processo. Existe uma pessoa por turno designada a estas tarefas e compete-lhe ainda a documentação das tarefas desempenhadas. O material é transportado desde os fornecedores, até à *Visteon*, em camiões. Neles, os grânulos cilíndricos de dimensões constantes envoltos num saco de plástico, são armazenados em batocos de cartão entre 500 a 1100 kg, *big bags* de 500 kg, ou sacos de plástico de 25 kg cada, de onde são descarregados para o armazém de MP, pelo seu responsável. Para os casos em que o material é imediatamente posto em circulação no circuito de distribuição de materiais, o meio de transporte é através de camiões cisterna, que podem conter até 25 ton de granulado. A cisterna é descarregada, colocada na vertical, anexada ao edifício da linha de produção, e assim fica até ser consumido todo o material. Na Figura 4 pode-se observar todos os meios de empacotamento no transporte de MP.



Figura 4: Da esquerda para a direita: batoco, *big bag*, sacos de plástico e cisterna industrial

Quando um camião de MP é descarregado, não é feita qualquer verificação de qualidade do material, apenas são assinados documentos de recepção e o responsável faz, posteriormente, a admissão do material em sistema *WARE* por MP recebida. O armazém onde esta é guardada está constantemente exposto ao ar exterior. Existem grandes portões a vedar o armazém, mas encontram-se regularmente abertos, por necessidade de trocas de mercadoria. Como tal, o material armazenado continua indiretamente ligado a um ambiente não climatizado, nem controlado.

Quando surge a necessidade do material ir para processo, este precisa de ser estufado. Estufagem é o nome dado ao meio de desidratação do material. Durante o transporte, a MP acumula gotículas de humidade ou de condensação que contaminam o material. Estas impurezas têm de ser extintas, para não comprometer a integridade do processo de injeção. Para o material ser conduzido às estufas designadas, o seu recipiente é então levado ou para *Oktomats* – equipamentos responsáveis pela sucção da MP,

primeira filtragem de impurezas e colocação no circuito de tubagem até ao silo correspondente – ou diretamente para uma estufa específica ao *Part Number (PN)* do material.

No caso de o material ser encaminhado para as *Oktomats* disponíveis, existem ainda 2 sistemas de *Poka-Yoke* que asseguram o controlo de processo. Só existem 2 equipamentos, um transporta materiais brancos e outro, pretos. Na própria geometria das *Oktomat* insere-se um *Poka-Yoke* físico. Os recipientes de MP brancas não encaixam na *Oktomat* correspondente ao material preto e vice-versa. Existe ainda um sistema elétrico de salvaguarda, feito através da ligação de fichas e validação computacional num *software* específico (desenvolvido pela *Rigorsoft*). Ao ligar a *Oktomat*, o responsável é forçado a preencher um código de barras com um PN associado à MP em questão. Só após o fecho das fichas físicas (ligando uma ficha adjacente à *Oktomat* e outra associada à tubagem que conduz à estufa correta), se dá a validação do processo por parte do sistema e autorização do funcionamento da *Oktomat*.

Os casos das MP que não entram neste circuito são os mais delicados de processar no momento de injeção. Estas, são colocadas diretamente em estufas próprias (com *Oktomat* individuais, junto à máquina de injeção em que serão injetadas). Em termos de processamento são mais instáveis, logo não se pode correr o risco de contaminação da produção e do lote de MP nas tubagens circulantes. Nestes casos incluem-se acrílicos – um material frequentemente usado para lentes ou peças estéticas – e o *Durabio* – um policarbonato de origem orgânica. Esta medida de segurança previne que a corrosão da tubagem contamine os grânulos circulantes, e até que haja mistura de diferentes materiais, que poderia resultar em alteração das propriedades físicas e químicas dos mesmos.

À medida que o material é colocado nas estufas e é encaminhado destas para as máquinas de injeção, o responsável da MP procede ao seu registo diário analógico. Este processo é executado para todas as MP, máquina de injeção, estufas e silos, em formulários padrão. Toda a documentação extraída desse turno é, no final, armazenada num dossiê que serve de cópia de segurança do histórico de consumo de material detalhado. Em sistema *WARE* sabe-se apenas o início e fim de lotes, não o histórico de consumo total.

Cabe ainda ao funcionário efetuar uma vistoria, junto dos postos de trabalho dos operadores, relativamente às peças defeituosas cujo material é possível de reaproveitar. Caso as peças apresentem defeitos estéticos ou funcionais que inviabilizem o seu aproveitamento, sem comprometer o material, e essa MP em questão seja reciclável, o responsável deve coletar as peças e transportá-las para o seu armazém. Neste, existe uma zona correspondente à regranulação de material – uma área para trituração das peças defeituosas para se conseguir reaproveitar o material e recolocá-lo em batocos. Este regranulado, é recolocado para injeção diretamente de estufas próprias para as máquinas de injeção, para que seja diluído ao longo da produção normal, o que minimiza possíveis variações do comportamento do processo.

Relativamente à produção, esta é organizada segundo os pedidos efetuados pelo cliente. Esta informação chega à equipa dos Plásticos pela equipa de Logística e é transmitida ao Engenheiro de Produção. Este é

responsável pela associação de cada molde à máquina respetiva de acordo com as solicitações recebidas. O Engenheiro de Produção é ainda encarregue pela criação de horários de produção diários consoante o número de pessoas disponíveis em cada turno, tendo presente a informação, por equipa, de pessoas disponíveis e da possibilidade de realização de operações de produção como os *changeovers*. Os *changeovers* são operações complexas que envolvem o manuseamento de pórticos para cargas pesadas, devido à elevada massa de cada molde. Na Figura 5 pode-se visualizar este procedimento em progresso. Porém, devido a instrumentos de *Single Minute Exchange Die*, trata-se de uma operação que é por norma efetuada em cerca de 10-15 minutos.



Figura 5: *Changeover* em progresso

Toda esta informação é compilada pelo Engenheiro de Produção, impressa em folhas para os coordenadores e escrita num quadro colocado no centro da linha de produção. Quando existe alguma alteração ao quadro, o Engenheiro de Produção informa os coordenadores que se encarregam de corrigir ou então é corrigida pelo próprio. Os técnicos de injeção, quando efetuam um *changeover* colocam a tarefa como realizada no quadro.

Após o *changeover* ser efetuado, o técnico de injeção responsável pelo arranque da máquina segue um algoritmo de procedimentos, os quais vai apontando numa folha de registos. Desde o pré-aquecimento da máquina, asseguramento de MP, purga do fuso, entre outros. Após todos os procedimentos verificados e temperaturas de processo estabilizadas, este irá arrancar com a máquina. Por norma, o arranque é dos momentos mais complexos da produção, logo deve ser revisto com extremo zelo. Em caso de alguma

anomalia, o técnico recorre ao Engenheiro de Processo presente, que se assegura da estabilização e qualidade do mesmo.

Quando o processo está em vias de ser estabilizado, o técnico avisa o operador de máquina (caso esteja atribuído algum ao PN em produção) para que este avalie a integridade da peça e detete eventuais defeitos. À terceira injeção consecutiva sem imperfeições, a produção é validada. O operador preenche a sua folha de procedimentos, registando o início da produção, coloca uma etiqueta verde na primeira peça aprovada e armazena-a, informando ao técnico a sua validação. Nesta altura, o técnico dá por encerrada a sua intervenção e preenche o remanescente da sua folha de arranque. Em seguida dirige-se para outra máquina a arrancar, ou presta auxílio às anomalias de processo.

Na linha de produção existem diferentes tipos de inspeções visuais a peças, consoante o exigido para as suas funções ou especificações. Há casos em que as peças caem diretamente para uma caixa situada na zona de abertura do molde, após a extração da peça do molde. Outros, em que as peças são extraídas e colocadas num tapete por um robot que, em seguida, as conduzirá para uma caixa que acumula lotes de produção. Ambas as situações implicam que periodicamente seja feita uma supervisão aos parâmetros da máquina e qualidade real das peças, antes de imprimir o *First-In, First-Out (FIFO)* em WARE, responsáveis pela atribuição da localização em armazém. Observável na Figura 6.

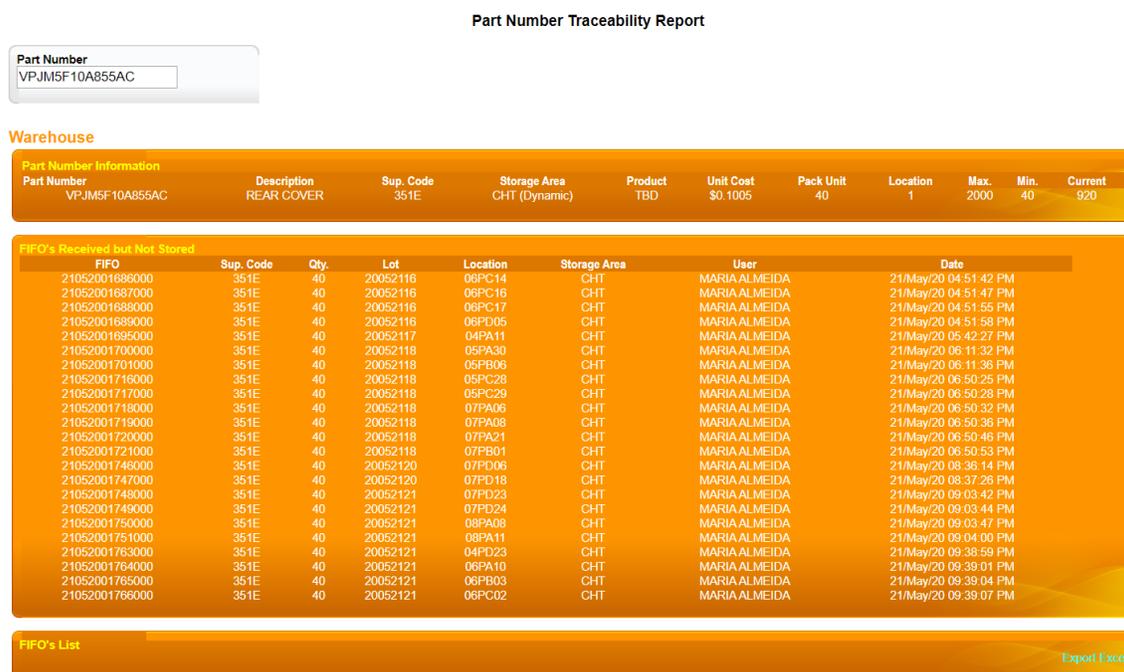


Figura 6: Rastreabilidade de componentes inseridos em WARE

Existem ainda casos especiais de produção: sistemas de visão com inspeção e arrumação automática. Quando o robot extrai as peças do molde, coloca-as numa posição fixa, de forma estável, à frente de uma

câmara. Essa câmara faz um mapeamento da peça, deslocando-se na vertical a todo o curso das peças. Após finalizar a inspeção, transmite os dados recolhidos para um computador alocado à máquina, onde corre um *software*, desenvolvido externamente. Este, cumpre o desígnio de comparar as imagens extraídas com as de uma peça considerada perfeita. As comparações são feitas para todas as cavidades da peças extraída e pode-se programar o *software* de forma a dar enfoque nas zonas mais críticas da peça, assim como alargar e encurtar critérios de aprovação, como se pode constatar na Figura 7. O *software* serve também para se criar uma base de dados dos erros mais comuns afim de perceber o que sucedeu ao longo de cada produção. Quando os resultados da comparação são concluídos, o PLC da máquina de injeção recebe o sinal, e o robot irá colocar as peças na caixa, ou para *scrap* (desperdício), dependendo do sinal emitido. Nestes casos, quando as caixas chegam ao fim do tapete, o abastecedor de linha tem também a tarefa de verificar as peças do topo de cada caixa, para nova validação de qualidade.



Figura 7: Sistema de Visão para controlo de qualidade automático

Apesar destes exemplos, o caso mais comum é o de peças que, após serem extraídas do molde, são colocadas num tapete até ao posto de trabalho de um operador de inspeção. A sua função é inspecionar a qualidade das peças, contabilização de peças produzidas, dos defeitos, arrumação das peças em caixas para armazém, colocação das caixas em carrinhos e servem como alerta de anomalias ao processo. Na arrumação, cada caixa tem apenas peças de uma das cavidades, para que, se houver problemas no cliente interno de assemblagem, se consiga apurar, se o problema existente é referente a apenas uma das cavidades ou transversal às peças. Assim, consegue-se imediatamente perceber se o problema é do processo global (matéria prima ou máquina), ou específico do molde, que levará à paragem da máquina para limpeza ou correção no próprio molde. No entanto, estes defeitos podem ainda ser de parâmetros de injeção e, para esse caso, podem ser independentes das cavidades.

Como referido anteriormente, quando as primeiras peças são aprovadas, o operador coloca-lhes uma etiqueta verde e guarda-as no posto de trabalho. Estas peças servem de referência de qualidade ao longo da produção de todo o turno, daquela máquina. Sendo que no início do turno seguinte, o operador que ocupa essa posição irá comparar a de primeira injeção com a peça produzida no momento. Se aprovar a produção, coloca etiqueta verde e substitui a antiga pela mais recente. No final da produção, o operador coloca uma etiqueta azul que acompanha o molde em caso de *changeover*, esta peça com etiqueta azul serve para futura comparação de arranque de produção. Em cada uma das etiquetas existe informação relativa ao número do molde, dia, turno e pessoa, para eventual análise.

Durante a produção, o operador é responsável pela avaliação da qualidade de peças, limpeza, remoção de estática da peça (com recurso a pistolas de ar ionizado) e arrumação das mesmas em concordância com o estipulado para esse PN. No entanto, havendo tanta variedade de produtos, é natural que o operador tenha dificuldade em recordar-se de todos os parâmetros de qualidade associados a cada um, defeitos mínimos considerados aceitáveis, a forma de arrumação, quantidade de peças por caixa, critérios de avaliação de qualidade por OEM, entre outros detalhes característicos ao modelo. E, de forma a reduzir o erro humano, existem auxiliares visuais documentados. As *Quality Process Sheet (QPS)*, são responsáveis pela definição de critérios e encontram-se impressas e posicionadas ao nível dos olhos dos operadores. Nestas folhas estão inseridas as informações de peça OK e *Not-OK*, com fotografias de frente, verso e detalhes de zonas críticas da peça. Informações como os defeitos comuns, métodos de arrumação e impressão de FIFOs também estão incluídas. No **Anexo A** pode ser consultado um exemplo de QPS.

Para facilitar o trabalho aos operadores, estão implementadas medidas preventivas de erros. Entre as quais, a rotação periódica de postos (de 2 em 2 horas) para prevenir desgaste ao operador na inspeção e a colocação de peças identificadas com as zonas mais críticas de cada peça, na bancada do operador. Nestas peças deve-se salientar quais os últimos defeitos a terem surgido em *Final Assembly (FA)*, quais as áreas mais afetadas por esses defeitos, zonas que (após montagem) ficam ocultas, ou até identificação de defeitos que não são considerados como significativos para considerar a peça *scrap*. Também é prática comum a colocação de outras peças do conjunto final, para que sirvam de modelo no teste de influência das peças de produção corrente (ao nível de encaixes, dimensional, defeitos visíveis, entre outros), na montagem em FA. Em caso de alguma questão adicional, os operadores devem recorrer aos supervisores.

Os supervisores têm a função de minimizar os problemas de produção e facilitar a comunicação entre equipas. Em caso de defeito nas peças, os operadores informam os supervisores ou o Engenheiro de Processo, que avaliam a peça e solicitam a intervenção dos técnicos de injeção, *Tool-Room* ou manutenção consoante o caso. Os próprios Engenheiros de Processo estão também habilitados a resolver algumas intervenções técnicas. Os supervisores são também responsáveis pela rotação de postos, permitindo aos operadores abandonar a sua área de trabalho. Desta forma, asseguram que as máquinas mais críticas não param em alturas de pausas de trabalho ou refeições. Dado que os arranques das

máquinas são momentos críticos de produção, deve-se eliminar as paragens. Apesar de todas as tarefas descritas, a mais preponderante é a certificação periódica da qualidade e contagem de cada peça a produzir. De 2 em 2 horas, o supervisor deve-se deslocar a cada máquina de injeção para confirmar com o operador o número de caixas produzidas, inspecionar as peças e validar a produção. Esta inspeção é registada nas folhas de registo de produção dos operadores, assim como as contagens de produção e defeitos por tipo. Estas folhas são, no final do turno, recolhidas pelos supervisores que, por sua vez, dão ao Engenheiro de Processo presente para armazenamento e análise.

Quando uma caixa é completa, o operador deve registar na folha de produção a sua contagem e colocar a caixa num carrinho estacionado numa área delimitada no chão da fábrica junto a cada máquina. No momento em que o abastecedor de linha detetar que o carro está completo, deve deslocar-se à estação de impressão de FIFO e dar entrada do carrinho em *WARE*. Após a impressão deste, anexa-o ao carrinho, desloca-o para a localização impressa automaticamente e deixa um carro vazio de substituição.

Em caso de defeito ou paragem, os técnicos são informados pelo supervisor, ou diretamente pelo operador de máquina (em caso de oportunidade). Para sinalizar uma paragem, a própria máquina apresenta uma pequena luz junto do corredor central da linha de produção que pisca a vermelho como alerta e aciona um alarme sonoro. O técnico que depura o ocorrido é o de injeção. Porém, a paragem pode ser de diversos tipos. Caso sejam problemas relacionados com os equipamentos, de fácil resolução, ou de processo é o técnico de injeção que os resolve. Todavia, se não conseguir solucionar o problema, recorre aos técnicos de *Tool-Room* (em caso de anomalia relacionada com o molde) e aos técnicos de manutenção (em situações de avaria de equipamento que requeiram intervenção corretiva). Estas requisições de técnicos estão sempre sujeitas a triagem pelo Engenheiro de *Tooling* ou de Manutenção para definir prioridades de trabalhos paralelos existentes. O critério de prioridade baseia-se na necessidade de produção de cada PN consoante o pedido de cliente e exige comunicação constante com o Engenheiro de Produção. Independentemente do tipo de paragem, é necessário que o técnico que a resolve faça o registo desta na folha de produção do operador com os seguintes detalhes: tempo de paragem, hora de início e fim da paragem, tipo de anomalia e causa raiz. Na circunstância de a paragem envolver a equipa de *Tool-Room* ou de Manutenção, esta paragem deve ser registada no sistema interno *VMaintenance*, cujo acesso é feito individualmente, pelo técnico responsável pela sua resolução, num computador específico localizado na *Tool-Room*.

Para além do procedimento de rejeição habitual feito pelo operador, o departamento de Qualidade da *Visteon* assegura-se de que a produção decorre em concordância com os padrões validados. Como tal, disponibiliza que, por turno, 1 ou 2 pessoas se desloquem a cada uma das máquinas para cumprir o seu procedimento estipulado. Estas idas à linha de produção ocorrem mais do que uma vez por turno, no entanto cada PN é avaliado apenas uma vez. Após comparação da peça com a QPS do operador, o colaborador da Qualidade deve inspecioná-la de novo. Por estar a olhar para a peça pela primeira vez

nesse dia, naquele momento, não apresenta qualquer tipo de desgaste na avaliação das condições do PN em questão. Os operadores da Qualidade têm a sua própria QPS específica a cada um dos PN e é por ela que se guiam em seguida. A pessoa encarregue da recolha das peças para Qualidade deve levar para o seu laboratório 2 peças de cada cavidade por PN. Depois de esperar cerca de 2 horas para que as peças arrefeçam e contraíam (assumindo as dimensões finais), deve documentar as dimensões características das peças, recorrendo a calibres específicos e paquímetros. Todos os valores são documentados pelo Departamento de Qualidade, sendo que a Produção apenas é notificada em caso de desvio acentuado dos valores normais ou em caso de o valor lido não estar de acordo com os toleranciamentos definidos pelo cliente.

3.2.2 Análise de Ineficiências com recurso ao *Lean*

Num momento posterior à realização dos *Gemba Walks* – com o objetivo de compreender o processo, as suas limitações e levantamento do potencial de integração – deve ser feita uma análise detalhada de cada uma das secções de trabalho.

Tendo por base a informação recolhida nos *Gemba Walks*, a percepção das condições reais do sistema produtivo já permite aos intervenientes uma postura crítica quanto aos desperdícios existentes. Através deste conhecimento de causa, passa a ser possível a proposta de soluções práticas, para que os desperdícios sejam minimizados, resultando num impacto positivo na produção, posteriormente verificado.

Assim, foi desenvolvida uma proposta de análise aos problemas verificados, para que sejam implementadas medidas corretivas a erros sistemáticos (ou pontuais) observados. Com esta análise pretende-se que, com recurso a ferramentas facultadas pelo modelo *Lean*, se consiga analisar os *Muda* detetados com o objetivo de melhoria e redução de desperdícios. Como concluído no levantamento bibliográfico efetuado, quanto maior for o nível de maturidade *Lean* da linha de produção, maior será a probabilidade de digitalização e automatização de processos de maneira eficaz. Então, esta análise por área permite a melhoria dos processos atuais, para a futura integração ocorrer da forma mais orgânica possível.

Antes de se prosseguir à análise detalhada de cada interveniente da linha de produção, é possível observar na Tabela 2 uma abordagem aos problemas encontrados. Esta tabela serve para facilitar a compreensão da secção presente, de maneira a estruturar as ineficiências por colaborador, tipo de desperdício associado, nível de impacto no sistema produtivo e causa raiz.

Esta tabela deve acompanhar a leitura na íntegra desta secção. Porém, não engloba todos os parâmetros avaliados por equipa ou área interveniente ao processo. Tem por objetivo resumir os defeitos principais e introduzir as alterações feitas no âmbito da aproximação ao modelo de sistemas produtivos *Lean*, revelando abertura na integração digital.

Tabela 2: Levantamento dos problemas encontrados por equipa, tipo de desperdício e causa

Equipa	Descrição	Desperdício	Impacto	Causa raiz
Matéria-Prima	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de controlo da MP recebida e documentação. - Défice de informação e deslocamentos. - Processos analógicos com liberdade para errar. 	Processamento Movimentação Talento Espera Defeitos	Muito alto - Crítico	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de critérios de qualidade - Negligência burocrática - <i>Poka-Yoke</i> inexistente - Informação centralizada - Distanciamento físico
Eng.Produção	<ul style="list-style-type: none"> - Má gestão dos recursos disponíveis - Dependência em processos falíveis 	Movimentação Espera Processamento Sobreprodução	Alto - Muito alto	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecarga de informação - Distribuição de informação ineficiente - Centralização de tarefas
Operadores	<ul style="list-style-type: none"> - Variabilidade na avaliação das peças e no critério de inspeção - Falta de controlo da documentação associada à produção 	Defeitos Movimentação	Médio - Alto	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecarga de tarefas - <i>Layouts</i> pouco intuitivos - Processos burocráticos ineficientes
Eng.Processo	<ul style="list-style-type: none"> - Análise de dados imprecisos - Fiabilidade em documentos obsoletos 	Talento Defeitos	Médio	<ul style="list-style-type: none"> - Dependência em processos burocráticos ineficientes
Supervisores	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de capacidade de distribuir informação - Falta de organização de tarefas - Abordagens à criação de soluções ineficientes 	Movimentação Espera Sobreprodução Talento	Médio	<ul style="list-style-type: none"> - Informação centralizada - Inércia reativa - Gestão de tempo - Falta de formação técnica
Abastecedores	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecarga física - Desperdício de conhecimentos logísticos - Acumulação de tarefas desnecessárias 	Transporte Movimentação Talento	Baixo	<ul style="list-style-type: none"> - Transportes sem suporte automatizado - Distribuição de tarefas
Técnicos de injeção	<ul style="list-style-type: none"> - Peças com defeitos sistemáticos - Menosprezo de tarefas burocráticas 	Defeitos Talento	Médio	<ul style="list-style-type: none"> - Imperfeição de programas - Experiência como estatuto
Técnicos de T.Room	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelecimento de prioridades entre manutenção e suporte à produção - Menosprezo de tarefas burocráticas 	Defeitos Espera Talento	Médio	<ul style="list-style-type: none"> - Desalinhamento entre Eng.Produção e Tooling - Experiência como estatuto
Técnicos de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecarga de trabalho - Menosprezo de tarefas burocráticas 	Espera Talento	Médio	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de recursos humanos - Experiência como estatuto
Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> - Fiabilidade dos processos - Inércia na resolução de problemas - Documentação de registos 	Defeitos Talento	Baixo	<ul style="list-style-type: none"> - Imprecisão de equipamentos - Dificuldades na comunicação - Interligação entre equipas
Equipamento Elétrico	<ul style="list-style-type: none"> - Sub-aproveitamento do potencial 	Todos	Alto	<ul style="list-style-type: none"> - Base em processos analógicos

Matéria-Prima

Seguindo a mesma lógica da secção anterior, a primeira área a ser avaliada é a de MP. E, analisando os dados observados, constata-se que se trata de uma área crítica a nível de processo devido aos erros recorrentes existentes e potencial vulnerabilidade no sistema produtivo. No entanto, é deixada ao encargo de apenas uma pessoa por turno, com diversos tipos de funções a realizar, em diferentes espaços. Não só é um trabalho que exige grande destreza física, como organização e manuseamento de equipamentos complexos. Acrescido a isso, observa-se que do ponto de vista de controlo existe espaço para erros graves e limitações claras de armazenamento de informação.

A ineficácia de processo mais evidente prende-se na falta de controlo de qualidade da MP recebida. Trata-se do ponto de entrada do material que, por não existir qualquer forma de prevenção de erro, pode resultar em atrasos significativos na entrega de peças para cliente. Uma área tão crítica do negócio não deve funcionar à base da confiança depositada entre insituições. Esta indiligência pode resultar em admissão de lotes de MP corrompida, situação que já se verificou, com impacto monetário negativo na ordem de milhares de euros. Torna-se assim, um dos pontos-chave a melhorar, para que não haja a possibilidade de esta ineficiência voltar a suceder.

Detetou-se ainda que nos canais internos de circulação de MP existe a possibilidade de erro. Desde as estufas individuais por material, até ao encaminhamento para a máquina correspondente, é feita uma ligação de tubagem de forma manual. Ao ser feita desta maneira, denota-se a existência de risco desnecessário, pois caso a MP esteja a ser encaminhada pelos canais de circulação para a máquina errada, todo o lote de produção fica comprometido. Não havendo qualquer aviso, ou método de bloqueio, a produção fica refém das boas práticas do colaborador, que pode incorrer em erros. Como tal, deve ser ponderado um sistema *Poka-Yoke* que impeça a passagem de material não correspondente ao planeamento.

No que toca à documentação do trabalho efetuado, existe um sub-aproveitamento evidente do potencial existente. Apesar da boa execução do preenchimento diário por parte do colaborador, pelo que se constatou, não existe qualquer tipo de supervisão ou controlo. As folhas de registo são preenchidas à mão, servindo como diretriz ao procedimento a efetuar pelo responsável de MP. Porém, raramente são utilizadas pela equipa de Engenharia, recorrendo a estas apenas em caso de anomalias detetadas no processo *a posteriori*, ou para efeitos de auditoria. Ao não haver controlo, não existe qualquer base de confirmação do preenchimento correto sem ser pela confiança depositada no trabalhador. O responsável de MP observa este sub-aproveitamento diário quanto ao procedimento efetuado. Com isso, desenvolve queixas contra estes por serem dados como dispensáveis, e de que o seu trabalho não é tido em consideração, resultando em desperdícios de processamento e talento. Deve então ser implementado um sistema que não só facilite a organização do colaborador, como o seu trabalho, a maneira de documentar os seus procedimentos, e de os armazenar de forma útil à equipa de Engenharia, para que possam ser estudados.

Outra ineficiência detetada é a falta de informação a que o responsável de MP tem acesso na sua área. Todo o processo passa por este colaborador, no entanto, para que esteja ao corrente do pretendido pela produção tem de se deslocar ao quadro de produção no centro da linha. Havendo ainda a possibilidade de que enquanto se desloca de volta ao seu posto no armazém de MP, tenha surgido alguma alteração à qual ele pode não ter acesso, em caso de falha de comunicação. Neste posto existem claros desperdícios *Muda* de movimentação relacionados com a falta de comunicação entre equipas, o que abre espaço a sistemas com quadros de Gestão Visual em tempo real em cada posto de trabalho.

Engenheiro de Produção

Constatou-se, utilizando a lógica de 5 *Whys*, que a real fonte de ineficiência comunicativa entre equipas provém da forma como o Engenheiro de Produção gere a informação que dispõe. Trata-se do posto com maior abrangência entre equipas e com responsabilidades significativas ao nível de lidar com pedidos de clientes (que variam de forma, por vezes, imprevisível). Tem ainda de lidar com a própria imprevisibilidade inerente à disponibilidade de recursos humanos, de máquinas, ferramentas e equipamentos paralelos.

A sobrecarga existente neste posto requer constante diálogo entre equipas, seja através dos quadros de gestão disponíveis ou por comunicação direta que pode ser extraviada ou até omitida por lapso. A generalidade dos processos – que não estão englobados na transmissão de informação de forma coletiva – são atribuídos pela distribuição de folhas com o plano diário previsto. Ora, havendo flutuações diárias da prioridade de produção, estas folhas tornam-se obsoletas ao longo de cada turno. Todavia, se as equipas não acompanharem essas alterações organizadamente, corre-se o risco de criação de entropia.

Surge então a necessidade urgente de sincronização em tempo real das exigências da produção e, para tal, deve ser criada uma solução que suprima as deficiências existentes, minimizando a possibilidade de erro humano.

Operador

Relativamente ao trabalho desenvolvido pelos operadores, conclui-se que, no geral, se trata de um trabalho exaustivo fisicamente, repetitivo o suficiente para que se possa perder a noção da qualidade da peça e com várias tarefas paralelas que podem gerar distrações. Acrescido a isso, existem alturas em que o mesmo operador pode estar encarregue de duas ou três máquinas simultaneamente. Tudo fatores que não abonam à inspeção da qualidade das peças. Quanto à perda de noção dos padrões de qualidade, a implementação do sistema de rotação periódico minimiza estes efeitos. Apesar disso, este problema pode persistir e a intervenção do Engenheiro de Processo ou do auxílio dos supervisores é determinante na estipulação de critérios, devendo ser interventivos positivamente para não criar hábitos nocivos.

O posto de trabalho encontra-se otimizado segundo os padrões 5S, havendo espaços delineados para todos os instrumentos necessários às funções dos operadores. Porém, podem estar localizados em zonas mais intuitivas ao deslocamento do colaborador.

Chegou-se ainda à conclusão de que as folhas de registo de produção são bastante ineficientes. O preenchimento destas folhas, como referido anteriormente, envolve pelo menos 3 equipas (operadores, técnicos e supervisores), o que pode incorrer ao seu extravio e preenchimento deficiente. Para o operador, o preenchimento destas folhas é até um acrescer de funções que gera perda de tempo na inspeção da qualidade das peças – função que deve ser sempre tomada como a prioridade principal.

Ao contrário das folhas preenchidas pelo responsável de MP, estas folhas (após serem recolhidas no final do turno pelos supervisores) são interpretadas pelo Engenheiro de Processo de forma meticulosa. No entanto, esta avaliação é morosa e implica um processo de repetição desgastante, sem que haja a garantia absoluta do preenchimento correto pelos intervenientes, ou até da análise do Engenheiro de Processo ser perfeita. Tratam-se de dados que não podem ser vistos como absolutos mas sim como representativos do processo diário. O que, para um procedimento que envolve tantos trabalhadores e tempo dispendido, tem de ser concebido numa forma mais válida. Torna-se lógico de que tem de ser melhorado, surgindo aqui a necessidade de implementação de processos que façam esta contabilização automaticamente. Para que, dessa maneira, o processo global seja melhorado tendo em vista o desperdício de tempo existente por parte de diferentes equipas e até na leitura de informação corrente numa forma intuitiva.

Finalmente, foi identificado que a grande maioria das QPS se encontram desatualizadas e em certos casos existe mais que uma versão da QPS para o mesmo PN. Isto deve-se às constantes micro-mudanças no processo que tornam obsoletas as versões existentes. O facto destes documentos estarem impressos em papel nos postos também contribui negativamente para a desatualização verificada. Isto porque até que se verifique que o documento se encontra desatualizado é necessário que o Engenheiro de Processo faça esse levantamento, ou que alguém lhe comunique isso. A juntar a isso a tarefa efetiva de alterar o documento, impressão do documento e substituição do mesmo, é vista como secundária para um posto de trabalho que exige prioridade ao processo em tempo real. Como tal, é essencial criar um método de atualização intuitivo, que facilite a consulta ao utilizador e que extinga as diferentes versões presentes no posto de trabalho definitivamente.

Supervisor

A avaliação feita, durante os *Gemba Walks*, às tarefas dos supervisores demonstra que, apesar de ser um posto de trabalho de elevada exigência e responsabilidade, a nível de carga física e de gestão de tempo é menos sobrecarregado que o de operadores. Trata-se de uma posição cujas funções são principalmente organizacionais, de comunicação e de agilização das necessidades mais prementes da produção. São, naturalmente, mais sobrecarregados nos momentos antes do início de turno e, durante o início de turno,

para conseguir distribuir a informação necessária a toda a equipa de injeção. No entanto, durante o turno, tirando as horas de rotação de posto ou de refeição, têm menor carga de trabalho caso não surja nenhum imprevisto na produção. É evidente que estes imprevistos surgem de forma regular, sob a forma de defeitos, paragens, ou até de purga de material rejeitado em FA. Porém, com uma melhor organização das próprias funções, pode-se otimizar o seu trabalho de forma a fomentar o aumento de controlo de qualidade da produção.

Relativamente à sobrecarga existente na primeira hora de cada turno, havendo a possibilidade de criação de um sistema que estimule a comunicação entre equipas, o posto de supervisor adquire maior equilíbrio na carga de trabalho inicial. Se tal acontece, é criada uma maior predisposição para tarefas que normalmente não lhe estão atribuídas, mas que, por alívio de carga, podem passar a desempenhar. Tarefas como retrabalho de material devolvido pelo cliente e sua respetiva retificação em *WARE*, controlo do espaço de armazém de peças alocado aos Plásticos, procedimentos de declaração de desperdícios, distribuição mais ponderada de pessoas por posto e até um aumento da frequência das inspeções regulares desempenhadas pelos supervisores.

Verificou-se também que, aquando das paragens, existem ineficiências no que toca à comunicação com as equipas de técnicos. Os supervisores são por norma quem tem a tarefa de comunicar aos técnicos as paragens de equipamentos. No entanto, não apresentam conhecimento técnico de máquinas de injeção ou ferramentas que lhes permita interpretar o que sucedeu na prática, para que possam fazer a triagem de qual a equipa de técnicos a contactar. Sendo assim, na maioria das vezes, acabam por comunicar ao Engenheiro de Produção para que este execute a triagem e solicite o auxílio da equipa técnica (eventualmente) necessária. Ora, neste processo notam-se desperdícios de desvalorização do potencial dos supervisores, enquanto pessoas capazes de desempenhar esta avaliação, e com isso existem várias ineficiências associadas, como desperdícios de espera e movimentação. Em resposta a esta ineficiência, foram realizadas formações que proporcionam uma melhor abordagem às paragens para conseguir triar os problemas mais eficientemente.

Quanto ao preenchimento de procedimentos, os supervisores têm apenas de realizar a inspeção de 2 em 2 horas por cada máquina de injeção e registá-la na folha de produção dos operadores. Apesar disso, por não haver controlo efetivo desta tarefa ser realizada, o supervisor não tem obrigatoriedade de a fazer, desde que a folha esteja devidamente preenchida. Deve, assim, ser criado um *Poka-Yoke* que impossibilite este possível lapso. Os outros documentos a ser preenchidos pelos supervisores são as folhas de produção para as máquinas que produzem sem que haja inspeção permanente de um operador. Sendo estes os responsáveis por todo esse registo, possivelmente incorrendo nos mesmos erros descritos anteriormente para os operadores.

Abastecedor

Ao nível dos abastecedores constata-se que se trata de uma posição que exige elevada disponibilidade física, organização de *stocks* e permanente mobilidade. São os membros da equipa de injeção com maior nível de deslocamento diário, o que, aliado ao tremendo esforço físico, pode resultar em sobrecarga, lesões e desgaste acumulado. Com esse facto em mente, devem ser aliviados de tarefas, para que este desgaste não comprometa a sua capacidade ou os resultados da linha de produção.

O levantamento das ineficiências da linha permitiu ainda entender que existe a possibilidade de os FIFO colocados nas caixas ou carros para cliente não serem impressos pelos abastecedores. Para isso é necessário que cada posto tenha uma impressora específica para o formato e que os colaboradores tenham formação no meio de impressão e particularidades por PN. Todavia é essencial que haja um sistema além do *WARE* que englobe toda a produção e permita ao utilizador a perceção dos momentos em que tal tarefa será requisitada.

Assim, no momento em que estas duas medidas estejam implementadas, consegue-se aliviar a carga de trabalho e os desperdícios de deslocamentos dos abastecedores. Sendo abertas novas possibilidades de valorização dos recursos humanos disponíveis.

Os abastecedores têm conhecimento profundo dos sistemas logísticos da fábrica, como tal, esse conhecimento deve ser capitalizado. Tarefas como controlo de *stocks*, outrora realizados pelos supervisores podem passar a ser geridos pelos abastecedores, para que os supervisores disponham de uma redução na sobrecarga de trabalho, permitindo o aumento do controlo de qualidade das peças.

Finalmente, um dos maiores problemas de logística verificados durante os *Gemba Walks* foram os vários FIFO registados se encontram com a localização física vazia, em armazém. Isto ocorre quando existe alguma impressão mal efetuada, quando existe encaminhamento de caixas para localizações erradas ou quando a equipa de logística incorre em lapsos de atribuição de localização. Trata-se de um problema comum e que resulta em imprecisões de entendimento do *buffer* existente. Dado que o planeamento do Engenheiro de Produção está totalmente dependente dos pedidos de cliente e do *buffer* existente, é perceptível que, se as peças atribuídas a uma localização, na realidade não existirem, o planeamento está enviesado pela informação deficitária efetiva.

Para reduzir este problema, apuraram-se as fontes na equipa de Plásticos e, com correções realizadas nos procedimentos ao nível de formação dos colaboradores, foram dissipadas. No entanto, é um tipo de erro que não fica completamente extinto. Porém, com o alívio da carga de trabalho dos abastecedores, podem ser criados procedimentos de verificação dos *stocks* existentes no próprio local, para que periodicamente se anule qualquer tipo de incoerência de *stocks* dado que os abastecedores são perfeitamente capazes de desempenhar essa função, valorizando-os.

Técnico

Quanto aos técnicos, tratam-se de postos de trabalho que exigem uma ampla gama de conhecimento de equipamentos e produção, manuseamento de maquinaria pesada, pensamento crítico para avaliação de problemas, assim como de visão no âmbito da otimização de processo. Trata-se de uma equipa que devido à preponderância que tem no processo, tem os seus procedimentos bem definidos, *Lean* e simplificados para tornar eficiente todas as tarefas que envolvem o seu trabalho. O facto de serem equipas diretamente suportadas pela equipa de Engenharia e com elos estreitos com esta, permite que sejam a equipa da fábrica com maior apoio, liberdade para tarefas autónomas e eficiência na resolução de problemas.

Ao nível de produção, os técnicos de injeção apresentam excelentes competências a nível *changeovers* e são suportados por ferramentas SMED que lhes permitem executar o objetivo. Enquanto que, no que toca à resolução dos problemas de processo de injeção, devido à grande maioria da equipa ter mais de uma dezena de anos de experiência, existe uma base de suporte extensa. Como medida de salvaguarda é, ainda assim, dada formação aos técnicos, para que os bons procedimentos sejam incutidos, independentemente da experiência adquirida.

Porém, nem todos os processos estão perfeitamente otimizados. Denota-se que nem todos os programas dos robots de extração se encontram no máximo aproveitamento. Ao ser feito um levantamento dos programas em ativo, verifica-se que entre o momento de extração e o de colocação no tapete existem perdas. Estas perdas são representadas por movimentos desnecessários e posicionamentos imprecisos na posição de corte de jito automático.

Estes desvios podem significar danos nos equipamentos (robots, garras de corte, ou até dos lasers de corte), enquanto que para a produção são vistos como desperdícios de transporte, movimentação, espera, processamento e defeitos. Como tal, foi feita uma revisão de todos os programas, melhorando a sua atuação. Atingindo assim, melhorias na qualidade do processo, tal como o aumento do tempo de transporte e corte, possibilitando uma extração mais lenta para salvaguarda dos equipamentos e aumento da precisão do corte automático do jito, para os casos aplicáveis.

Relativamente à equipa de *Tool-Room*, tem o seu trabalho sustentado na organização delineada pelo Engenheiro de *Tooling*. Esta organização confere à equipa a identificação de um esquema horário e de prioridade dos moldes na expectativa de manutenção. É apresentada num quadro semanal localizado na *Tool-Room* e prevê o tempo de futura manutenção do próprio molde em caso de não ter de sofrer qualquer intervenção corretiva.

A equipa interpreta o quadro e, recorrendo ao equipamento disponível pode realizar intervenções no molde, ou até manufaturar material de substituição, caso necessário. Durante o turno, os técnicos têm o dever de concluir as manutenções previstas. Contudo, existem imprevistos diários que exigem a

intervenção destes na própria máquina. Nesta situação, a prioridade é sempre dada à produção, logo os técnicos organizam-se de forma a concluir a tarefa correctiva o mais rapidamente possível, sem que as manutenções decorrentes sejam prejudicadas. Existe também o caso em que a manutenção correctiva não pode ser efetuada na própria máquina e, para esses casos, cabe ao Engenheiro de Produção e *Tooling*, reverem as prioridades existentes para não comprometer nem a produção nem as manutenções necessárias.

Para melhorar a sincronização entre equipas foi concebido um plano de manutenção detalhado. Este inclui os imprevistos de produção tendo em conta o histórico de cada molde e a sua susceptibilidade a avarias. Este trabalho, em paralelo entre os Engenheiros de Produção e *Tooling*, visa a defesa dos interesses da produção, sem que haja a possibilidade de incorrer em riscos desnecessários para os moldes que necessitam de manutenção. Serve com salvaguarda orientadora e como diretriz de procedimentos.

Aos técnicos de manutenção é-lhes exigida a garantia de funcionamento de todos os equipamentos periféricos ao processo, e manufatura de dispositivos de suporte. Trata-se de um trabalho exigente e multifacetado, com elevada componente elétrica, assim como de conhecimento mecânico e hidráulico de equipamentos. A equipa de técnicos de manutenção é a menos numerosa, apesar de lidar com uma vasta variedade de dispositivos. No entanto, é a que tem os laços mais estreitos com o Engenheiro de Manutenção, o que permite que seja a que tem maior suporte às dificuldades enfrentadas. Desta forma, tem a maior capacidade organizacional entre as equipas, apesar de ser a que está mais susceptível à falta de recursos humanos.

Não obstante da elevada valência prática verificada em todas as equipas técnicas, o cumprimento de procedimentos burocráticos é insatisfatório transversalmente. Trata-se de um grupo de colaboradores com claras apetências funcionais, porém, existe uma certa desorganização e inércia para este tipo de tarefas. A origem deste problema centra-se na falta de visão do propósito para tal, sustentada no argumento de que devido à experiência adquirida sempre se conseguiram obter resultados satisfatórios sem que estes processos estivessem implementados.

Por exemplo, ao nível de preenchimento das folhas de produção dos operadores, todas as equipas de técnicos menosprezam o seu cumprimento. O que leva a que, por norma, quem preenche os espaços imputados aos técnicos (quer de arranques, paragens, ou manutenções) são os operadores de linha. Algo inaceitável do ponto de vista de precisão, justiça e até de desperdício de tempo para os operadores que têm, desde já, um posto sobrecarregado e de elevada responsabilidade. Tem de ser imposta uma solução que vise o cumprimento obrigatório das tarefas alocadas a cada um, sem que haja forma de contornar a sua realização. A implementação destes processos leva inevitavelmente ao conflito com uma classe de trabalhadores que se sente no direito de respeito pela experiência e demonstra inércia à implementação de novos procedimentos que não vão de acordo com o seu hábito. É então necessário delinear uma estratégia para que o confronto seja o mais ordeiro possível e, simultaneamente, respeitador do processo.

Qualidade

No que diz respeito ao Departamento de Qualidade, observa-se que é um trabalho que exige precisão, capacidade de interligação entre equipas e manuseamento de instrumentos delicados. É suportado por uma equipa curta mas com uma carga de trabalho inferior à de outros postos. Esta equipa, por não pertencer aos Plásticos, exige que, ao serem feitas mudanças no seu processo, haja alinhamento de ideias entre departamentos, o que pode criar limitações na transição para o resultado pretendido.

As tarefas dos colaboradores da Qualidade são de garantia das especificações por parte das OEM relativamente aos PN em produção. Para tal, devem efetuar medições e executar ensaios de teste que validem estas especificações. Durante este processo registam manualmente os resultados obtidos em dossiés respetivos ao projeto em que o PN está inserido. Em caso de inconformidade, notificam imediatamente o Engenheiro de Processo, que procede à sua correção. Só posteriormente, é que os dados registados são inseridos na base de dados da Qualidade, revelando a estabilidade, ou instabilidade, dos valores obtidos nos ficheiros de análise estatística do Departamento. Este intervalo de tempo entre os dados serem convertidos do analógico para o digital é bastante moroso, sendo que por vezes demoram vários dias a acontecer. Trata-se de uma ineficiência visível e que pode resultar em que peças defeituosas cheguem a cliente devido ao elevado tempo de resposta, como tal, é essencial que seja encontrada uma solução para que este problema seja extinto.

É certo que os valores são registados analogicamente, e posteriormente transcritos para o digital, porém, para o Processo, o verdadeiro valor das medições prende-se no imediato. A tarefa dos colaboradores da Qualidade, aquando de aquisição de dimensões incongruentes, é notificar a linha de produção, como mencionado anteriormente. Porém, a falta de comunicação entre equipas torna-se, de novo, um problema. Por norma, o Engenheiro de Processo é imediatamente informado de medições fora do espectro, contudo, há situações em que essa informação se perde. Isto pode resultar em problemas de montagem de lotes inteiros, o que atrasa o processo e aumenta o desperdício da linha. Torna-se essencial que seja criada uma ponte mais ténue entre a Qualidade e Plásticos, para evitar falhas desnecessárias e, até para aumentar o fluxo de informação entre equipas ao nível de análise do processo por PN medido.

Potencial Elétrico

Por último, através da realização dos *Gemba Walks*, constata-se que existe um elevado potencial de integração elétrica dos equipamentos, que apesar disso, se encontra em sub-rendimento. Recorrendo à leitura dos painéis das próprias máquinas de injeção consegue-se adquirir a perceção de posições, temperatura e parâmetros de injeção.

Estes sinais conseguem ser exportados para o PLC da máquina para serem integrados num sistema de interpretação de dados. No entanto, isso não é realizado, sendo que os sinais são aproveitados meramente

para consumo interno da própria máquina. Também os sinais emitidos pelos equipamentos periféricos ao processo são, geralmente, aglomerados no painel de controlo de cada máquina. Ora, se existir um sistema que adquira e analise todos os sinais emitidos a partir de cada máquina, consegue-se fazer a aproximação à ideia de I4.0.

Sendo evidente, através da análise feita, de que os processos analógicos implementados incorrem em erros sucessivos e recorrentes, tem de ser criada uma solução que substitua estes processos. Esta solução pode ser analógica, ou digital. Porém, deteta-se que a fonte dos problemas de falta de informação transversal à linha, falta de armazenamento de dados (e sua análise), se deve exclusivamente aos fracos processos analógicos existentes.

Tendo em conta que o objetivo principal desta dissertação é a digitalização da linha de produção, faz sentido implementar um sistema que colmate as ineficiências verificadas na raiz e que permita capitalizar ao máximo o potencial elétrico existente. Este potencial está presente não só nas máquinas de injeção diretamente ligadas ao processo, como nos próprios sistemas paralelos ao processo. Para que exista um controlo global, interligando a informação recolhida, é essencial que se crie um sistema que adquira as mensagens das máquinas, dos equipamentos periféricos, dos equipamentos da MP e Qualidade, assim como do sistema *WARE* e *VMaintenance*.

3.2.3 Resolução de Ineficiências com recurso ao *Lean*

Através da análise detalhada dos processos realizados por todas as equipas envolvidas neste sistema produtivo (e dos equipamentos disponíveis), surge a necessidade de melhoria dos mesmos. Dado que a raiz destas ineficiências se encontra já identificada, torna-se possível encontrar soluções para que estas sejam corrigidas permanentemente com recurso às ferramentas *Lean* disponíveis. Com esta otimização, pretende-se que o sistema produtivo tenha os seus processos normalizados de maneira transversal a todas as equipas, para que se consiga proceder à digitalização da forma mais fluída possível. Assim, salvaguarda-se a integridade dos procedimentos existentes e dos futuros.

Matéria-Prima

O problema mais crítico que se identificou ao longo dos *Gemba Walks* foi unanimemente, entre as equipas envolvidas, a falta de controlo existente no processo de admissão de MP. A MP tem influência direta na qualidade da produção e, ao não ser testada convenientemente, pode comprometer lotes inteiros de produção. Este cenário já aconteceu anteriormente, apesar disso, na altura não se apurou a origem do problema. Tratam-se de lotes de elevada quantidade, o que por consequência implicam quantias avultadas de investimento.

Para esta ineficiência, apurou-se a origem do problema através da lógica de 5 *Whys* e, recorrendo ao ciclo de PDCA, pensou-se numa solução permanente. Nesse sentido, desenvolveu-se um processo que passasse a servir como meio de controlo da pureza da matéria prima a partir da avaliação dos índices de viscosidade. Através de uma máquina de avaliação de *Melt Flow Index (MFI)*, consegue-se extrair os valores do *Melt Flow Rate (MFR)* em [g/10min] e comparar com os valores tabelados pelo fornecedor (com a devida tolerância). É um máquina composta por um plastómero de extrusão (3), um sistema de controlo de temperatura (12), um elevador de cargas (2) e um *encoder* (4 e 5), como se verifica na Figura 8.

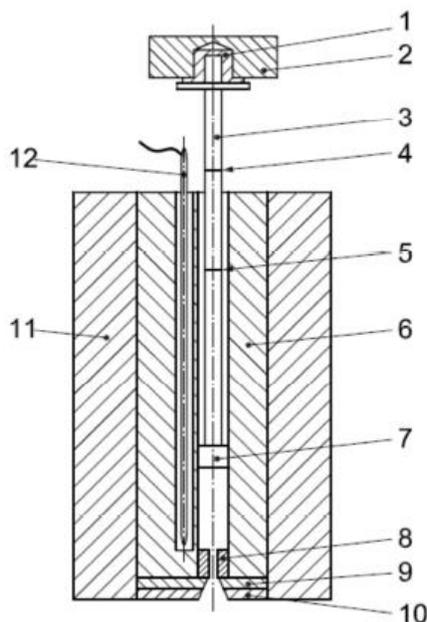


Figura 8: Estrutura do dispositivo de leitura MFI [55]

Para que haja fiabilidade nos valores obtidos é providencial que a máquina seja calibrada, o que inclui o termo-par, o diâmetro da fieira, e a massa das cargas. A máquina consiste num tipo de procedimento simples. Trata-se de um ensaio experimental que se baseia no princípio da gravidade para conseguir extrair valores de viscosidade. Quando o material estiver dentro da fieira o elevador de cargas será acionado, o que levará a que as cargas atuem sobre o fluido, forçando a descida de material a uma maior velocidade. O que leva a que a máquina consiga calcular o MFR do material, tendo o responsável da MP a tarefa de comparar os valores obtidos com os tabelados. O colaborador deve ainda registar os valores para se criar um histórico para estudo, enquanto não existir integração deste procedimento. Após a programação da máquina para cada material e validação individual, este procedimento torna-se padrão. Assim, fomenta-se a confiança entre cliente e fornecedor, com dados fundamentados, incorrendo apenas a um aumento de 10 minutos no processo de descarga de MP por ensaio. O tempo de realização do ensaio em pouco afeta o responsável pela área, podendo este proceder à continuação das suas funções burocráticas na admissão de MP, pois o processo não requer supervisão enquanto em progresso.

Através da implementação desta solução, pretende-se ainda que com recurso à compatibilidade de transmissão de sinais deste equipamento, que o sistema digital desenvolvido integre futuramente este processo.

Operador

Devido às exigências físicas inerentes a esta posição, o objetivo de melhoria foi aplicado na ótica de simplificação de processos. Com isto, pretende-se que as tarefas exigidas a esta equipa sejam desempenhadas mais intuitivamente, para se conseguir aumentar a qualidade de trabalho. De forma indireta, ao se aumentar a qualidade de trabalho nos postos de inspeção, melhora-se o método de avaliação de qualidade das peças. O que aumenta os resultados da produção ao diminuir o volume de peças defeituosas detetadas em cliente.

Nesse intuito, foram alterados alguns posicionamentos dos postos de trabalho para facilitar procedimentos e minimizar os movimentos desnecessários, cumprindo os princípios 5S. Um exemplo prático dessas mudanças foi a criação de um espaço específico no posto de trabalho de cada máquina de injeção para a colocação das peças com as etiquetas verdes, azuis e as de exemplo para encaixes ou defeitos recentes encontrados em FA, verificável na Figura 9.



Figura 9: Caixa para primeiras/últimas peças de produção e exemplos de modelos pós-montagem

Outro problema constatado foi o de falta de normalização dos modelos de QPS e de que as versões mais atualizadas destas nem sempre estavam presentes no posto de inspeção. Isto por existirem alterações ao processo que não são documentadas, sendo que em vários casos foram detetadas mais que uma versão da mesma QPS no posto de trabalho. A solução definitiva deve passar pela centralização de cada QPS no sistema digital concebido, para se evitar este problema, mas antes que a implementação digital ocorra é providencial que, aquando da sua ativação, todas as QPS estejam com a versão mais atualizada possível.

Então, além de ter sido efetuado esse levantamento e a sua correção, decidiu-se incluir ainda de forma global um método particularizado por PN de inspeção às peças. Assim, possibilita-se ao operador a padronização da inspeção para que esta siga um algoritmo de maneira a que os erros de avaliação sejam minimizados e o desgaste de trabalho seja minorado ao longo das 2 horas atribuídas a cada posição. No **Anexo A**, encontra-se disponível um exemplo de QPS já incluindo o formato atualizado.

Abastecedor

O que a análise efetuada evidenciou, no que à equipa de abastecedores concerne, é que estes colaboradores são solicitados excessivamente para tarefas de deslocamento entre a linha de produção e armazéns de arrumação de peças para cliente. Trata-se de uma função puramente física e desgastante, que pode ser substituída de forma eficiente através de equipamentos que cumpram esse desígnio.

Para tal, implementaram-se zonas na fábrica dedicadas ao transporte de mercadorias de forma autónoma. Com o recurso a tecnologias de robots *Automated Guided Vehicles (AGV)* e *Mobile Industrial Robots (MIR)*, conseguiu-se reduzir a sobrecarga verificada junto dos abastecedores, representados na Figura 10. Este alívio não elimina totalmente a necessidade de intervenção humana. Contudo, permite que os abastecedores acumulem outras funções que valorizem o seu conhecimento adquirido em tarefas de logística ou dos próprios processos inerentes à linha de produção dos Plásticos. A implementação destas rotas de forma automatizada contribui positivamente para outro dos problemas detetados durante os *Gemba Walks*. A ineficiência registada relativamente à incoerência entre a localização digital atribuída pelo sistema *WARE* das peças para armazém, com a localização física efetiva. A partir deste método automatizado, garante-se que o material é enviado para a localização correta pelos robots, pois estes têm o destino definido, não havendo margem para erro.

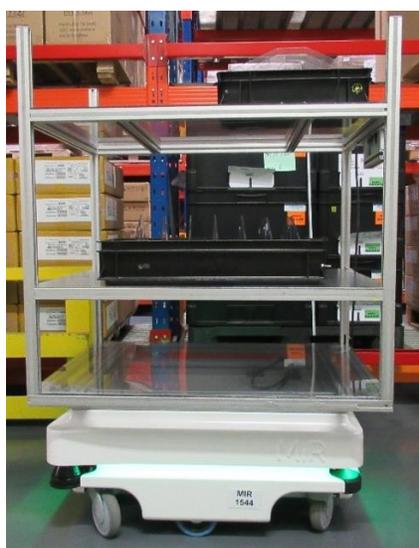


Figura 10: MIR em posição de abastecimento na doca

Técnicos

Dado que as várias equipas de técnicos estão munidas de elementos extremamente competentes nas suas funções, as otimizações realizadas visam melhorar o processo. Estas equipas desempenham trabalhos práticos, com influência direta na qualidade da peça, logo devem estar constantemente alerta para hipóteses de melhoria no processo.

Como tal, decidiu-se expandir a aplicação do corte automático do jito à grande maioria dos PN em produção, devido aos resultados positivos no ciclo de PDCA efetuado para um PN de exemplo. Este corte pode ser realizado através de garras de corte ou por máquinas de corte por laser. Sendo que, posteriormente, foram criados equipamentos de granulação dos jitos para aproveitamento em futuras produções. Estes equipamentos foram aplicados exclusivamente a MP que permitam este reaproveitamento e a máquinas de injeção cuja MP é dedicada, para que não hajam potenciais contaminações de material.

Assim, foi criada uma máquina de trituração dos jitos na posição diretamente abaixo da zona de corte, para que as lâminas desse equipamento tornem este desperdício em grânulos do tamanho aproximado aos de origem, visível na Figura 11.



Figura 11: Sistema de corte, trituração e recirculação de jitos

A partir do depósito desse equipamento, foi criado um canal de sucção a vácuo de material, que segue para uma tremonha específica da máquina de injeção. A tremonha dedicada a MP de fabricante e a de material reaproveitado têm frações de difusão diferentes, de maneira a diluir no processo o desperdício acumulado. Com esta solução reduz-se o nível de desperdício em PN específicos numa média de 5%, o que tem impacto significativo a longo prazo.

Qualidade

Tendo em conta que esta equipa está dependente de processos de elevada precisão, devem-lhe ser atribuídas as ferramentas necessárias ao cumprimento das suas tarefas. Com a evolução do acesso a equipamentos de precisão, também os próprios critérios de determinação de qualidade das peças evolui, sendo que as próprias OEM forçam este cumprimento.

Como tal, foi implementado um sistema de medição por *Coordinate-Measuring Machine (CMM)* da *Mitutoyo*, na Figura 12. Este sistema aumenta a precisão das dimensões retiradas para a ordem de grandeza micrométrica, garantindo uma maior fiabilidade de valores, comparativamente aos instrumentos utilizados até então.



Figura 12: Máquina CMM com peça colocada no fixture e armário de fixtures

Para implementar este processo, além da criação e validação dos programas de medição, é necessária a manufatura de *fixtures* fidedignos, que imobilizem a peça devidamente e com a garantia de repetibilidade. Após a validação dos programas (através de testes de repetibilidade e reprodutibilidade), os colaboradores devem ser formados para ajustes necessários, desbloqueio de erros e posicionamento de peças. Como acrescento, é ainda incluída uma QPS específica a cada PN para a colocação no *fixture*, garantindo que toda a equipa imobiliza a peça de forma igual, minimizando o erro de medição.

O facto de este processo passar a estar dependente da medição CMM, assegura a diminuição dos erros, aumenta o tempo disponível do colaborador para outras tarefas durante as medições e, ao estar dependente de um *software*, permite uma melhor integração da informação. Antes da utilização da CMM, os dados recolhidos pelos colaboradores eram registados em dossiês para futura inserção nos gráficos de análise estatística da Qualidade. Com este novo método, é possível a exportação automática do *software* da CMM para um *software* estatístico da mesma marca do equipamento, que analisa desvios ao longo do decorrer do processo por característica medida.

3.3 Proposta de um sistema digital

Para se conseguir ter uma visão completa de toda a produção em tempo real, é necessária a criação de um sistema que seja capaz de agregar todos os campos e exigências da linha de produção, desde a Matéria-Prima até ao empacotamento para cliente. Após efetuada a identificação dos principais problemas da linha, resolução dos mesmos com aproximação ao *Lean* e estipulação das áreas de impacto neste novo sistema, é então desenvolvida a ideia do mesmo. Pela leitura do levantamento de imperfeições na secção anterior, conclui-se que existem demasiadas falhas ao nível da contabilização de produção, do seu planeamento, comunicação entre equipas, registos de operações e necessidade de alívio de tarefas nos postos de trabalho através realização automática das mesmas. Após essa análise é essencial criar uma listagem dos requisitos mínimos para criar um sistema que possa suprir as necessidades da linha de produção.

O sistema a desenvolver deve ter a capacidade de organizar e apresentar as prioridades de trabalho entre equipas, permitir o registo de atividade de cada interveniente da linha, interpretar sinais elétricos e analógicos (provenientes dos recursos humanos disponíveis, assim como de todos os equipamentos existentes interligados em rede), aglomerar informação e tratá-la, para melhorar a interpretação do processo de injeção. Como tal, deve ter a sua estrutura sustentada numa base descentralizada, capaz de gerar mecanismos e ações de maneira automática e sistemática. O sistema tem de criar mecanismos de *Poka-Yoke* que impeçam a propagação de erros ao longo do processo, e deve estabelecer uma constante comunicação com o utilizador acerca das necessidades da linha de produção ou até relativamente eventuais erros de manuseamento. O sistema tem ainda de ter a capacidade de aglomeração de todas as ferramentas pré-existentes na linha de produção, para que consiga integrá-las, sem que haja entropia entre mecanismos. Deve ainda ter a capacidade de integrar a comunicação entre equipas não pertencentes ao Departamento dos Plásticos, para facilitar a transmissão de informação e aproximar os diferentes setores do sistema produtivo global, como a Qualidade, Manutenção e Logística.

Surge assim a ideia do sistema PCIS, em desenvolvimento neste presente trabalho, com o apoio conjunto entre a equipa dos Plásticos da *Visteon* e a *Rigorsoft* – fornecedora de propriedade digital da *Visteon*. Compete à equipa da *Visteon* a concepção da estrutura, estabelecimento de funcionalidades requeridas, apresentação dos diferentes menus, definição das bases de dados exigidas, criação dos algoritmos essenciais à execução do sistema e identificação de potenciais *bugs*. Enquanto que à *Rigorsoft*, o desenvolvimento do código para que o sistema seja implementado, correção de erros e manutenção periódica aos servidores.

O PCIS é um sistema com a capacidade de integração de todas as ferramentas internas da fábrica, sinais elétricos disponibilizados pelos equipamentos e máquinas de injeção, assim como dos dados introduzidos por parte de ação humana. Trata-se de um instrumento intuitivo que confere ao utilizador a compreensão

da linha de produção, em tempo real, com um nível de abrangência global ao processo desde MP a entrega para cliente. Na Figura 13, estão representadas vários níveis de informação alcançados através do PCIS e instrumentos de aquisição de sinais.

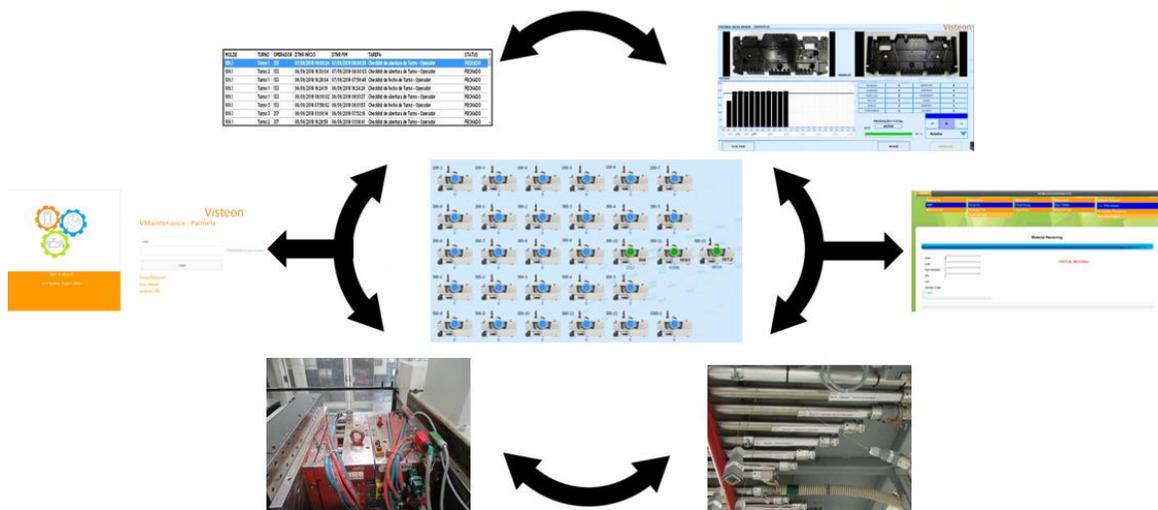


Figura 13: Nível de abrangência global ao processo do PCIS

Ao recorrer-se a ferramentas de *Structured Query Language* e *LabView*, consegue-se criar uma estrutura para a base de dados agregadora do sistema, dos moldes e das MP, que se encontra alojada num servidor próprio. E, através de switches colocados no PLC das máquinas de injeção, o servidor irá adquirir sinais de cada uma das máquinas, para fornecer informação à base de dados. Esta base de dados irá conter toda a informação acerca de cada molde, máquina e produção.

Dado que se trata de um sistema embrionário, os *switches* ligados à máquina recebem apenas 2 sinais provenientes de relés no PLC de cada máquina de injeção: sinal de processo em modo automático e sinal de abertura de molde. Quando o módulo recebe o sinal contínuo de automático, significa que a máquina está em produção corrente, caso contrário a máquina está parada ou sob intervenção de um técnico. Já o sinal de abertura de molde serve para que, quando combinado com o automático, represente a conclusão de um ciclo. Isto é, se o automático está ligado, entre dois sinais consecutivos de abertura de molde, acontece uma injeção. Desta forma, contabiliza-se a produção, porém, é necessário que o sistema interprete mais sinais e, para tal, precisa de adquirir sinais provenientes do armazém de MP assim como das próprias intervenções humanas. Então, colocaram-se em todos os postos de trabalho computadores táteis, que enviam sinais por cabo *Ethernet* ao servidor, para interpretação de informação de forma automática. No plano de distribuição de MP pelo sistema de circulação interna existe também a possibilidade de emissão de sinais, de forma a adquirir a informação de qual a MP posta em circulação, a qual foi criada com emissão ao servidor.

Para já, estes são os únicos sinais adquiridos, mas as possibilidades são apenas limitadas pelos sinais disponíveis no PLC da máquina, podendo ser feita futuramente a aquisição de outros sinais para automatização de mais processos. Esta infraestrutura entre os meios físicos e digitais (Figura 14) rege todo o sistema, logo é indispensável que a instalação dos equipamentos seja feita cautelosamente.

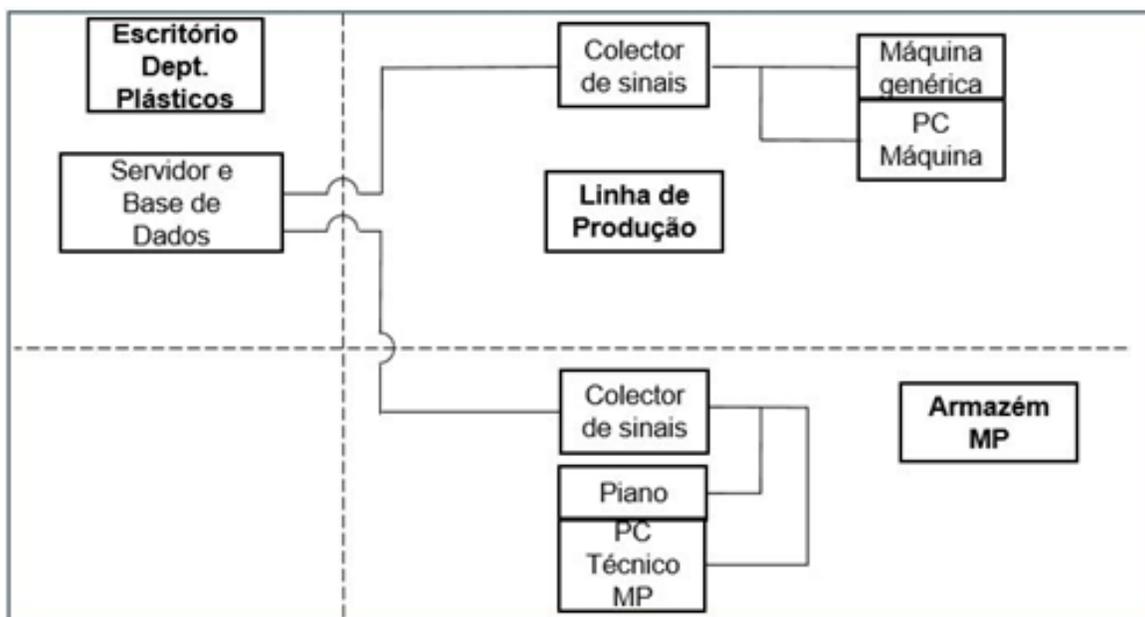


Figura 14: Planta da Linha de Produção, com esquematização da infra-estrutura física do PCIS

Após o desenvolvimento do código estrutural para o *back-end* do sistema, passa a ser da responsabilidade da equipa de desenvolvimento a criação das bases de dados do processo em *front-end*. Existem várias estruturas que prevêm as ramificações das diferentes fases do processo.

É essencial que haja uma base de dados para os moldes onde, através de uma ficha técnica, se consegue perceber o procedimento atribuído a cada PN. Nesta ficha técnica estão inseridas informações como: o nome do molde, MP, grupo de produção, PN por cavidade, número de peças defeituosas máximas de arranque, produção horária expectável, número de cavidades, de *Poka-Yoke* da ficha do molde, assim como caminhos para os ficheiros de QPS e fotografias representativas das peças em produção. Relativamente a algumas das características enumeradas, o grupo de produção (Cosmético, Lentes, Não-Cosmético) cataloga o tipo de PN em produção de forma a compreender o valor expectável de produção comparativamente ao tipo de peça.

O momento de arranque de produção é o mais crítico quanto a peças defeituosas. Tendo isso em conta, é necessário definir o valor máximo até se considerar um arranque excessivamente defeituoso, e é para isso que serve a propriedade do número máximo de peças defeituosas de arranque. O número de cavidades representa o valor pelo qual se multiplica o número de impulsos de injeção de forma a saber-se

o número de peças totais produzidas. O *Poka-Yoke* da ficha do molde trata-se do valor que o molde emite numa ficha física, que irá ser ligada pelos técnicos aquando do *changeover*. Existem espaços de preenchimento complementar como o de descrição, mensagem de alerta e os de Cavidade 2 – relativos a moldes que produzem mais que um PN na mesma injeção – por exemplo, moldes que produzem uma peça direita e outra esquerda – o que significa que têm também fotografias diferentes por cavidade. Para melhor percepção, observe-se a Figura 15.

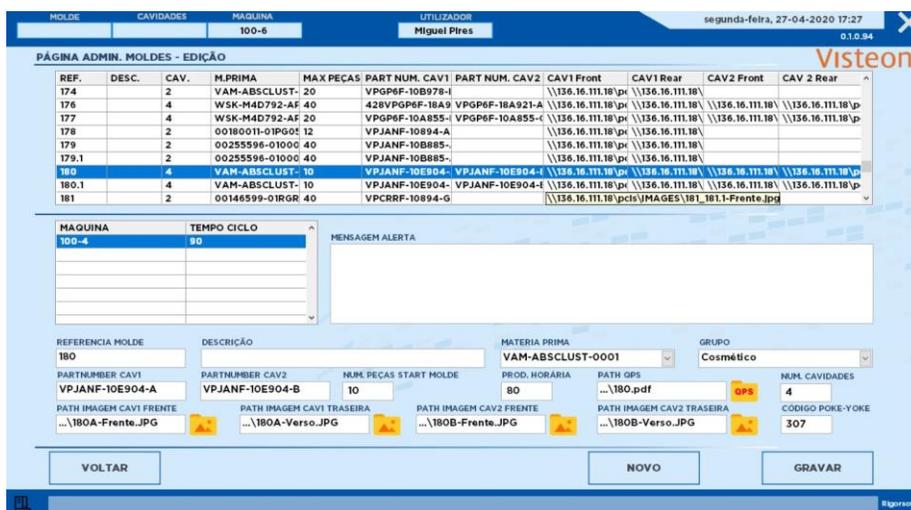


Figura 15: Menu da base de dados de moldes e fichas técnicas por molde

Como constatado na Figura 15, existe ainda uma tabela neste menu que apresenta os valores de tempo de ciclo, em segundos, esperado por molde em cada máquina de injeção. Visto que as máquinas são diferentes, e dispõem de equipamentos paralelos distintos, o próprio processo é mutável de máquina para máquina, sendo esperado diferentes tempos de ciclo. No entanto, é importante haver a estipulação de tempo de ciclo para haver controlo do processo. Como tal, existe um menu em que é possível definir este atributo de cada molde por máquina, para que, em caso de desvio igual ou superior a 10%, apareça uma mensagem de alerta ao operador de que deve informar o seu supervisor deste potencial atraso na produção. Durante este desvio de tempo de ciclo, o sistema emite ainda um sinal num dos quadros de Gestão Visual que apresenta a disposição da linha de produção, representando o desvio com o piscar de uma luz a vermelho na imagem da máquina.

Outra estrutura essencial ao *front-end* do sistema é o de integração da MP no processo. Também esta necessita de um menu dedicado para que sejam definidas todas as características particulares às diferentes MP. Nesta base de dados, incluem-se: as referências da MP, PN, descrição, código *Poka-Yoke*, opção de distribuição de MP (piano ou secador), tempo e temperatura de estufagem, assim como o número dos silos, secadores e/ou *motan* ao qual têm associado o seu processo de secagem. Desta maneira consegue-se fazer o rastreio de cada material numa forma nunca antes conseguida, incorporando todos os pontos inerentes a este processo.

Finalmente, existe ainda a estrutura criada para as pessoas que interagem com o sistema. Para tal, é necessária a criação de diferentes tipos de perfis consoante as tarefas consignadas a cada posto de trabalho. Após a criação dos perfis (administração, técnico, operador, por exemplo...) devem ser criados os perfis para cada pessoa. Assim, todas interações feitas em sistema podem ser rastreadas e cada colaborador tem acesso apenas às funções que lhe são atribuídas, garantindo uma maior taxa de desempenho de tarefas, armazenamento de informação e minimização de erros. Ao definir as bases do processo, é preponderante estabelecer como se distribui a produção e a informação relacionada com a mesma. Tornando-se essencial que os métodos analógicos de distribuição de informação previamente implementados sejam substituídos pela utilização deste sistema.

Cabe ao Engenheiro de Produção esta tarefa. Como anteriormente referido, todo o planeamento passa pelo Engenheiro, assim como os pedidos de cliente, então deve manter atualizadas todas as alterações ocorrentes. De forma a reduzir a entropia de informação gerada no quadro de produção, este foi substituído por uma televisão colocada no centro da linha de produção, que transmite o plano em tempo real. O Engenheiro é incumbido de importar o ficheiro de *Excel* onde faz todo o planeamento, e o sistema interpreta a informação, gerando automaticamente os *changeovers*, arranques e paragens com as horas, máquinas e moldes correspondentes.

Em caso de alteração de planos, é possível a qualquer pessoa da equipa de Engenharia (ou a pessoas cujos acessos o permitam) fazer essa alteração, enviando paralelamente mensagens de alteração de planos. Desta forma, a informação torna-se fluída e adaptável, facilitando a tarefa a toda a equipa. Assim, confere-se flexibilidade absoluta quanto à variabilidade de processo, diminuição de entropia informativa e diminuição da carga de trabalho do Engenheiro de Produção – posto já definido como sobrecarregado.

Tabela 3: Quadro de Gestão Visual de planeamento de produção

H.CHO.	H.ARR.	H.PARA.	MAQ.	SAI	ENTRA	ESTADO	OBS
	10:00	21:29	500-10		203	ARRANQUE	
		10:29	300-9		174	EM PRODUÇÃO	
10:30	11:00		300-9	174	054A	CHANGEOVER	
11:00	11:30	22:59	500-8	184	134.1	CHANGEOVER	alterado por ftrinca às 10h
	13:30		500-5		196	ARRANQUE	
		13:59	500-8		184	EM PRODUÇÃO	
14:00	14:30		300-8	056	095	CHANGEOVER	alterado por ftrinca às 10h
		14:29	500-13		189	EM PRODUÇÃO	
14:30	15:00		500-13	189	197	CHANGEOVER	
		16:29	500-1		055	EM PRODUÇÃO	
		16:29	500-3		178	EM PRODUÇÃO	
		16:29	500-12		179	EM PRODUÇÃO	
		17:29	300-10		209	EM PRODUÇÃO	
17:30	18:00		300-10	209	108.1	CHANGEOVER	
18:30	19:00		500-1	055	205	CHANGEOVER	
19:00	23:59		100-2	138	169	CHANGEOVER	

É através deste quadro de Gestão Visual que as equipas de técnicos e supervisores se guiam. A Tabela 3 tem a função de definir a prioridade das ações a serem executadas pelos técnicos e o seu código de

cores característico, para que seja identificável à distância. A hora que irá determinar a prioridade da tarefa a desempenhar é sempre a mais à esquerda e, caso a hora real seja atingida, a linha irá mudar de cor até a tarefa prevista ser concluída. Caso a operação a ser efetuada seja um *changeover* a linha passará a amarelo, se for um arranque passará a azul. Para situações em que os técnicos demoram mais de meia hora a desempenhar a tarefa, a linha irá passar a vermelho, o que significa que entraram em incumprimento. Assim que as suas tarefas sejam concluídas, a hora referente à dita tarefa desaparece e a linha reorganiza-se pela hora da coluna imediatamente à direita. A ultrapassagem da hora de paragem não implica alteração da cor da linha, isto porque pode haver necessidade de compensação do tempo de paragem imprevisto da máquina.

Existem casos particulares em que o molde está a produzir indefinidamente na máquina. O que implica que não existe hora de paragem prevista. Nestes casos, a linha organiza-se no fundo da lista, para não sobrecarregar de informação o quadro apresentado. Desta forma, consegue-se que os técnicos saibam as tarefas a fazer e, tendo em conta que este ecrã pode ser consultado em qualquer computador no posto de trabalho dos operadores, deixa de haver a necessidade de papel para troca de informação na linha de produção.

Como complemento à Gestão Visual, o sistema transmite ainda para duas televisões (cada uma na sua extremidade da linha de produção) a disposição da linha de produção. A partir do ecrã referente ao estado das máquinas adquire-se a informação de funcionamento da máquina (Verde – a produzir correctamente; Vermelho – Parada quando devia estar a produzir, ou fora do tempo de ciclo; Amarelo – em *Changeover* ou Arranque; Azul – sem plano definido; Preto – módulo de aquisição de sinais desligado), molde em produção por máquina e contagem total por lote de cada máquina.

Voltando a seguir a lógica de análise do processo desde MP até cliente, deve-se proceder à análise do sistema pelas funcionalidades estipuladas para esta.

Pela informação retirada da avaliação do processo, conclui-se que a área de MP é uma das zonas mais críticas ao nível do comprometimento de registos de tarefas em prol do processo. Logo, é importante delinear planos de execução obrigatória para as tarefas dos responsáveis de MP de maneira a que haja uma estrutura em que a equipa se possa basear e registar as informações inerentes ao seu trabalho.

A partir da base de dados de MP supracitada, e do plano de produção inserido diariamente, o sistema interpreta a informação relativa ao que deve produzir e em que máquina. Cria ainda um horário de tarefas ao responsável de MP, assim o colaborador consegue consultar o seu plano de trabalho no seu posto, ou em qualquer computador da linha. Este plano contém a informação organizada de forma horária para que esteja definido o nível de prioridade de tarefas, tal como um código de cores associado a cada linha, para tornar mais intuitiva a sua interpretação. Estas tarefas passam por registo de início/fim de estufagem,

registos de funcionamento de silos, *changeover* de MP, estado de funcionamento de *Motans* e até entrada em sistema de novos lotes.

Esta última funcionalidade de inserção de novos lotes é feita num menu à parte, para que se consiga inserir em sistema a recepção de material proveniente de fornecedor. O responsável de MP deve inserir este novo lote com informação do silo/secador em que será encaminhado, nome do material, número do batoco, número do lote e o sistema adquire o valor médio dos valores lidos pela máquina de MFI, para armazenar com estes dados. No momento de registo do lote novo são apresentados ao responsável de MP os silos correspondentes à MP a inserir, o que impede erros de paralapse. Assim, confere-se um maior controlo ao processo de MP e organiza-se todo o plano dos materiais, facilitando o trabalho à equipa.

Nesta área, o sistema adquire também a componente de prevenir de erros. Isto porque, devido às fichas elétricas instaladas no plano de circulação interna de MP, o responsável sabe sempre qual o material a ser encaminhado para cada uma das máquinas. Caso o sinal lido pelo sistema não seja o suposto ser obtido – comparativamente ao plano de produção e às tarefas previamente efetuadas pelo responsável de MP – o sistema não só apresenta mensagens de erro na área de trabalho respetiva e máquina em que se verifica o encaminhamento errado, como bloqueia qualquer ação até ser colocado material correto. Este sistema *Poka-Yoke*, definido na ficha técnica de cada MP e molde, resolve 100% dos erros relacionados com circulação errada de MP.

É também um sistema com a capacidade de prevenir erros relacionados com a estufagem de material. Existem situações em que devido à alteração repentina de planos, é necessário uma máquina produzir mais cedo do que previsto inicialmente. Esta circunstância pode resultar em erros graves de variabilidade de processo devido à falta de estufagem. Contudo, por haver obrigatoriedade de execução de tarefas de estufagem durante um período de tempo mínimo estabelecido, confere-se proteção ao processo na omissão de tarefas, por esquecimento.

Todas estas ações, por serem registadas em sistema, são armazenadas na base de dados, e consultáveis para apresentação em auditorias, ou para interpretar erros na linha. Trata-se de um melhoramento que, apesar de não ser mensurável, facilita do ponto de vista organizacional e precavê a linha de erros de processo, devido a métodos de bloqueio. Não só devido ao sistema *Poka-Yoke* mencionado anteriormente, como através do próprio registo efetuado pelo responsável de MP. Sem esse registo, a produção não decorre, então o sistema cria bloqueios em caso de preenchimento incorreto ou omissão de processos. Assim, a produção fica assegurada, no que à integridade dos materiais processados diz respeito.

Prosseguindo para as funcionalidades asseguradas na produção, constata-se que os postos de operador apresentam esforços físicos e burocráticos incompatíveis com o tempo disponível para a avaliação precisa da qualidade da peça.

Após a equipa de técnicos ler a informação do planeamento diário, adquire a prioridade de tarefas de *changeovers* e arranques a executar. Para efetuar este procedimento, desloca-se ao computador alocado à máquina de injeção em que este ocorre e, insere em sistema, a tarefa que iniciou naquele momento. Seguidamente, executa a sua função da forma habitual, sendo que no final coloca uma ficha elétrica que representa o final do *changeover* e fecha o circuito de *Poka-Yoke* (Figura 16). A ficha localizada na máquina confere ao sistema um código correspondente à máquina. O molde emite outro sinal, que é comparado com o valor inserido pela equipa *Visteon* na ficha técnica e a MP tem o mesmo sistema, como mencionado previamente. Esta comparação é feita constante e instantaneamente com o plano de produção. Caso todos os *Poka-Yoke* sejam validados, então a tarefa de *changeover* é concluída automaticamente, caso contrário apresenta uma mensagem de erro ao utilizador e impede o início de produção.

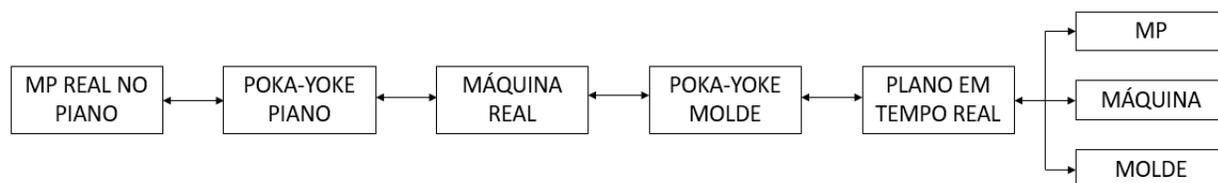


Figura 16: Esquema representativo dos sistemas de *Poka-Yoke* implementados

Quando este circuito é validado, a máquina encontra-se pronta para produzir. Porém, para dar entrada de produção em sistema é necessário que o técnico inicie a sua tarefa – correspondente ao preenchimento da folha de produção anteriormente utilizada. Durante a parametrização da máquina de injeção efetuada pelo técnico, o operador é responsável por iniciar a sua tarefa de arranque de produção (que atua em paralelo com a do técnico). Depois da validação de qualidade da produção pós-arranque e de todo o preenchimento dos procedimentos essenciais, o operador dá o arranque por concluído. Nessa altura, cabe ao técnico validar o estado automatizado do processo e, com isso, finalizar o arranque de produção. Esta dependência de procedimentos entre equipas agiliza a comunicação, assegura a qualidade e garante o preenchimento burocrático. Para situações em que o valor do número de peças defeituosas de arranque é ultrapassado, o operador não está habilitado a concluir a sua tarefa. Aparece uma mensagem de alerta padrão, que incumbe ao operador contactar um supervisor (coordenação ou Engenharia). Só com estes acessos, se pode concluir o arranque, o que defende a linha de produção da instabilidade na qualidade em peças mais sensíveis.

Assim que as tarefas de arranque de produção são efetuadas, o PCIS começa a contabilizar a produção através dos sinais adquiridos do PLC da máquina. Em paralelo, disponibiliza a qualquer utilizador o menu de Qualidade. Para casos em que o molde produz mais do que um PN (como estabelecido na ficha técnica do molde), apresenta 2 menus de Qualidade.



Figura 17: Menu de Qualidade em funcionamento

É neste menu representado na Figura 17 que o operador dispense a maioria do seu tempo. Nele, o operador tem ao seu dispor dois ângulos de inspeção de um modelo de comparação de peça sem defeito em produção. Em caso de deteção de defeito, o operador procede ao seu registo por tipo, quantidade e localização. Este nível de especificação nunca foi possível recorrendo às folhas de produção, sendo que desta forma se permite a análise a fundo das rejeições mais comuns e zonas críticas. Devido à contabilização automática de peças, aumenta-se o tempo disponível de inspeção, todavia o de interação com o computador tátil é inferior ao da folha de produção.

Como observado na Figura 17, no menu de Qualidade está disponível um gráfico horário crescente consoante a produção corrente e uma barra horizontal correspondente ao objetivo horário esperado. Para casos em que existe *changeover*, as barras verticais e horizontais adquirem cores diferentes, com a respetiva legenda, para que não haja falsas interpretações. Além destes KPI operacionais, verifica-se também o *First-Time True (FTT)* que consiste na percentagem de peças OK (não contabilizando peças de arranque, ou pós-arranque, já esperadas como sendo desperdício inevitável). Esta barra é dinâmica e apresenta 3 cores: vermelha (FTT inferior a 80%), amarela (FTT entre 80-90%) e verde (FTT superior a 90%), servindo como KPI motriz de avaliação por parte do Engenheiro de Processo ao longo do acompanhamento diário de cada produção.

Para PN cujo espaço 'Mensagem de Alerta' na ficha técnica do molde esteja preenchido, o sistema é responsável por apresentar essa mensagem ao utilizador sempre que o utilizador entre no menu Qualidade e de 2 em 2 horas caso permaneça sempre nesta interface. Desta maneira, consegue-se transmitir informação permanentemente a toda a linha de produção, particularizada por PN e problemas inerentes à

sua injeção. O intervalo de tempo é escolhido de acordo com a rotatividade de postos, para que todas as pessoas tenham acesso à mesma informação. É também neste menu que a mensagem de desvio de tempo de ciclo surge. Se o tempo de ciclo superar em 10% o tempo previsto, o operador adquire o valor exato do tempo de ciclo atual sendo informado de que deve contactar um supervisor ou técnico para que ajuste este potencial desvio de produção.

Durante a avaliação das peças é ainda disponibilizado ao operador um menu de QPS com acesso a todas as que existem na base de dados. Por defeito, ao clicar nesse menu, é imediatamente apresentada a QPS do PN em produção, mas a consulta pode ser global. Deste modo, extinguem-se as versões desatualizadas de QPS em cada posto de trabalho, assim como qualquer folha em papel. O que leva à diminuição de entropia de informação e até à atualização mais regular das mesmas, devido à facilidade de integração em sistema.

Aos supervisores, é-lhes incumbida à mesma a tarefa de inspeção periódica de peças. Como tal, desde o momento em que a tarefa de arranque de produção ocorre, o PCIS gera automaticamente estas tarefas, que só podem ser fechadas com permissões de coordenação ou superiores. Para facilitar a navegação entre ecrãs, quando uma tarefa de supervisão é criada, aparece um botão que pisca a vermelho no menu Qualidade em rodapé. Quando o utilizador prime esse botão, são-lhe pedidas credenciais, para poder fazer a sua avaliação da peça e fechar a tarefa. Ao retroceder, o utilizador é levado de novo ao menu Qualidade. O mesmo sucede para os inícios e fins de turno, pois os operadores têm de declarar a execução da substituição das peças com etiqueta verde e azul.

Também no menu de Qualidade se encontram botões que encaminham o PCIS para os outros sistemas paralelos ao processo. Entre os quais, o *WARE*, que permite ao operador a impressão de FIFO de uma forma simples. Assim, cada operador é responsável pelas peças que aprova. O processo de impressão de FIFO, por ser com recurso a inserção de dados por códigos de barras padronizados, não permite erros. Anteriormente, os abastecedores executavam esta operação com uma identificação referente à linha de produção. Com este método, aumenta-se o rastreamento de operações, produtividade individual, diminui-se a carga dos abastecedores e compensa-se parte do alívio obtido na carga de trabalho dos operadores com a implementação do PCIS.

A partir do menu de Qualidade pode-se ainda declarar as paragens das máquinas. Através do PLC da máquina de injeção consegue-se saber quando é que o sinal de funcionamento automático da máquina se desliga. É então essencial justificar-se esta paragem para aumentar a compreensão da linha. Então, o operador prime o botão de paragem disponível na interface de Qualidade. É-se encaminhado para o ecrã disponível na Figura 18, onde se declara ao sistema o tipo de paragem (falha no equipamento, gestão de pessoal ou falta de embalagem), assim como a identificação do técnico responsável pela resolução do problema.

PÁGINA PARAGENS Visteon®

MOLDE	TURNO	OPERADOR	DTHR INICIO	DTHR FIM	TIPO PARAGEM	STATUS
179.1	Turno 2	404	05-02-2020 17:46:15	05-02-2020 18:19:05	Equipamento	FECHADO
179	Turno 3	433	05-02-2020 01:26:20	05-02-2020 01:45:39	Equipamento	FECHADO
086	Turno 2	474	04-02-2020 17:41:59	04-02-2020 17:43:55	Equipamento	FECHADO
086	Turno 2	469	04-02-2020 17:33:55	04-02-2020 17:36:53	Equipamento	FECHADO
086	Turno 2	469	04-02-2020 17:14:35	04-02-2020 17:21:02	Equipamento	FECHADO
086	Turno 2	469	04-02-2020 17:08:32	04-02-2020 17:10:24	Equipamento	FECHADO
086	Turno 2	469	04-02-2020 16:56:12	04-02-2020 16:58:57	Equipamento	FECHADO
086	Turno 1	466	04-02-2020 12:36:53	04-02-2020 12:42:51	Equipamento	FECHADO
179	Turno 1	401	04-02-2020 09:09:38	04-02-2020 09:18:42	Equipamento	FECHADO
179	Turno 1	401	04-02-2020 08:32:35	04-02-2020 08:50:42	Equipamento	FECHADO
179	Turno 3	999	04-02-2020 03:12:41	04-02-2020 03:16:28	Equipamento	FECHADO

NOME TÉCNICO: Pedro Martins

TIPO PARAGEM: EQUIPAMENTO

Águas/Ar
 Laser
 Limpeza do Molde
 Matéria Prima
 Molde
 Pressão
 Robot
 Sistema de Visão
 Tapete
 Termoregulador

REPORTAR PROBLEMA

ESTADO PARAGEM: FINALIZAR

VOLTAR NOVA PARAGEM GRAVAR

Figura 18: Menu de Paragens

O operador, nesta situação, sabe o porquê de a máquina ter parado e escolhe a opção que mais se adequar. Em caso de ser problema do equipamento, um técnico desloca-se à máquina e, após resolver o problema, regista no sistema o que sucedeu e a forma de resolução. Caso seja preciso uma manutenção mais profunda, é possível, através do mesmo Menu, fazer uma hiperligação à base de dados *VMaintenance*. Passa a existir a possibilidade de centralização dos canais de manutenção da *Visteon*, o que facilita a navegação dos técnicos nos mesmos. Assim, não dispendem tempo a deslocar-se desnecessariamente (e incorrer em esquecimentos), aquando do momento de declarar manutenções, pois podem-no fazer diretamente nos equipamentos. Em situações cujo motivo de paragem seja falta de embalagem, ou gestão de pessoal, não é preciso ligação ao *VMaintenance*, no entanto, é necessário que sejam justificados os motivos de falha e sua resolução.

Quando o sinal auto do módulo for novamente acionado o tempo de paragem deixará de ser contabilizado, mas apenas quando forem feitas todas as declarações ao sistema é que o operador poderá retornar ao menu de Qualidade. Nessa altura, o PCIS, pede ao utilizador o número de peças defeituosas de arranque após paragem. Essas peças são registadas, mas não são contabilizadas para FTT.

Para facilitar a comunicação entre a equipa do Departamento dos Plásticos e da Qualidade, existe no PCIS um menu dedicado às tarefas dos colaboradores de Qualidade. Tendo acesso aos quadros de plano de produção e estado real das máquinas, conseguem atuar mais rapidamente na linha de produção. Assim, recolhem as peças após a estabilização do processo, resultando em menor período de tempo de espera, além do obrigatório de arrefecimento das peças (2 horas). Quando as peças estiverem com as suas dimensões finais, os colaboradores devem medi-las e, registá-las no sistema. Caso o método de medição seja a CMM, o próprio *software* da máquina exporta os valores retirados para folhas de registo referentes

aos PN no PCIS (além de as exportar para o *software* estatístico da marca da máquina). Para as peças medidas analogicamente, os colaboradores devem inserir diretamente no sistema, de maneira a que não haja necessidade de registo físico. Assim, melhora-se a comunicação entre equipas, enquanto se reduz a entropia resultante dos registos em papel.

Nenhuma destas funcionalidades teria aplicação prática se não houvesse controlo por parte da equipa de Engenharia. Logo, existe um menu que permite ao utilizador estudar os procedimentos efetuados, e produção real, durante um determinado período de tempo.

Esse menu, faculta a escolha do relatório que pretende gerar. Possibilita a escolha e cruzamento de filtros de pesquisa, entre os quais: molde, máquina, turno, grupo e operador, como se verifica na Figura 19. O sistema possibilita ainda a criação de relatórios de 3 formas diferentes: relatório simples sem exportação de ficheiros, exportação para *Excel*, e exportação para página *HTML*.

Cada tipo de exportação apresenta as suas particularidades, sendo o caso de *HTML* (exemplo em **Anexo B**) o mais indicado para análises profundas da linha. Nestes relatórios estão incluídas não só as produções, como as tarefas declaradas em sistema, assim como as paragens. Tendo em conta que cada pessoa se identifica antes de executar qualquer interação, e que o sistema sabe sempre o momento em que são declaradas, torna-se bastante simples de identificar problemas ou até apurar a responsabilidade para com os seus utilizadores. O sistema implementa um espírito de brio profissional e responsabilidade, logo os padrões de qualidade aumentam indiretamente.

PÁGINA RELATORIOS - PRODUÇÃO Visteon®

GRUPO	MOLDE	MAQUINA	TURNO	QTD	QTD. DEFEITO	TOTAL	FTT (%)	DTHR INI.	DTHR FIM	ARR. DEF
				880867	37276	843591	95,77	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	4
Lentes			0	264924	29675	235249	88,8	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	2
Cosmético			0	390805	5636	385169	98,56	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	1
Não-Cosmético			0	224401	1712	222689	99,24	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	1
			1	315978	10997	304981	96,52	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	3
			2	265038	14602	250436	94,49	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	1
			3	299851	11677	288174	96,11	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	0
107.2			0	15736	83	15653	99,47	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	0
107.2			1	4888	83	4805	98,3	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	0
	100-2		0	38085	64	38021	99,83	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	1
	100-5		0	49439	42	49397	99,92	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	0
179	500-12		0	36774	2815	33959	92,35	01-02-2020	29-02-2020 23:59:00	0

DATA/HORA INICIO: 2020/02/01 00:00
 DATA/HORA FIM: 2020/02/29 23:59
 MOLDE: 179
 MAQUINA: 500-12
 TURNO: *

GRUPO: *
 OPERADOR: *
 INCLUIR PARÁGENS E TAREFAS:
 INCLUIR IMAGENS DEFEITOS:
 INCLUIR GRAF. PROD. HORÁRIA:

INCLUIR LISTAGEM TIPOS DEFEITOS:
 ORIGEM DADOS: DATABASE
 EXPORTAÇÃO: N/A

Figura 19: Menu de Relatórios e disponibilização de relatórios simples com cruzamento de filtros

Além do relatório gerado, através do procedimento supracitado, são apresentados os resultados por mês (caso o período de tempo exceda 40 dias) e, por dia num determinado mês, por molde, como se observa na Figura 20. Nestes, são apresentados ainda gráficos de FTT e de tempo total de paragens na produção. Depois, particularizam-se produções diárias e por turno, mostrando todas as características das produções especificadas. Neste relatório, são discretizados todos os detalhes de produção: horas de início de produção, contagem de peças OK, de defeitos apontados com definição do tipo e localização na peça, FTT, paragens e suas justificações... Apresenta ainda todos estes resultados de forma discreta por molde, máquina, dia e turno.

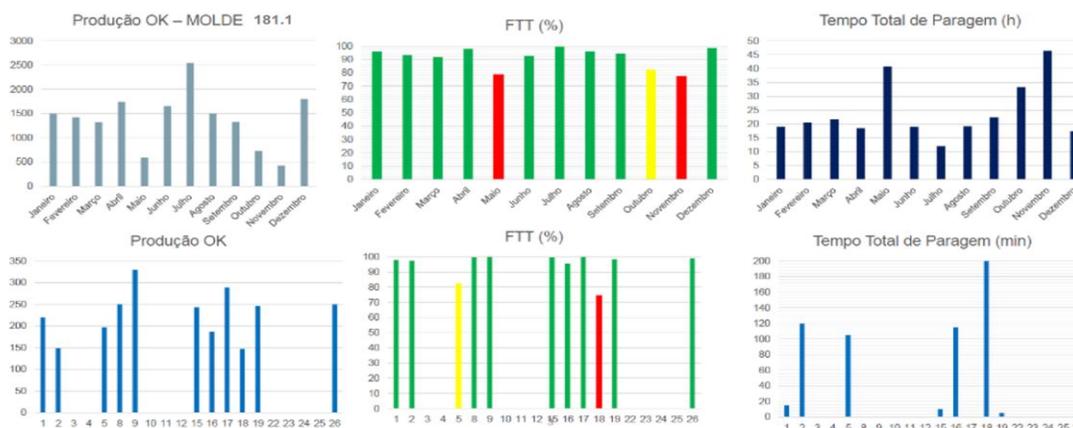


Figura 20: Conjunto de gráficos de exportação *HTML* a longo prazo

Para finalizar, foi implementada também a funcionalidade de criação de relatórios relacionados com as tarefas desempenhadas pelos responsáveis de MP durante um determinado espaço de tempo. Neste relatório está incluída toda a informação referente às tarefas diárias desempenhadas pelos trabalhadores, assim como dos lotes inseridos durante esse período de tempo, pelos mesmos.

Como complemento ao aumento de controlo do estado das máquinas e da linha de produção, foi ainda concebida a funcionalidade de consulta *web*. Através do acesso ao IP do servidor que aglomera a base de dados e aplicação, caso o utilizador tenha acesso à VPN da *Visteon*, – por motivos de segurança cibernética – consegue aceder ao ecrã de disposição da linha de produção. Clicando em qualquer uma das máquinas presentes nesse ecrã, tem acesso a uma interface de visualização do ecrã de Qualidade referente a cada máquina. Assim, permite-se a consulta do estado da linha de produção em tempo real, em qualquer parte do mundo.

É de salientar que todo este processo foi efetuado com implementação por módulos de maneira a minimizar a resistência das pessoas, fomentar a utilização do sistema, facilitar a sua aprendizagem e aumentar a taxa de deteção de *bugs* existentes, o que permitiu uma melhor resolução dos mesmos.

4 Metodologia de Implementação Digital

Este capítulo tem como principal foco a estipulação de uma metodologia para implementação de sistemas digitais independentes do produto final resultante do sistema produtivo em questão. Serve ainda esta secção do documento para registar as dificuldades enfrentadas – e as limitações dos sistemas – observadas durante ambas as implementações, assim como algumas estratégias de minimização destas.

A necessidade de criação desta metodologia surge da falta de informação verificada em casos práticos atuais, aliada à necessidade de expansão para outra linha de produção de injeção na *Visteon Corporation*, Palmela. A falta de informação deve-se, não só ao facto de estes sistemas serem recentes e estarem a ser implementados progressivamente na indústria, como também dos acordos de confidencialidade exigidos pelas empresas. Já a necessidade de expansão na *Visteon* surge da falta de controlo existente na área de injeção de *Thixo Molding* (injeção de magnésio), e dos excelentes resultados apresentados pelo PCIS na linha de injeção de Plásticos.

4.1 Caso de estudo do processo de injeção *Thixo Molding*

Na secção 3.1 do presente documento foi possível perceber a estrutura do sistema produtivo da *Visteon Corporation*, Palmela. Dado que a área de *Thixo Molding* é liderada pela mesma estrutura de Gestão da linha de injeção de Plásticos, a sua composição em termos de equipa é organizada da mesma forma. Assim sendo, a distribuição de tarefas está padronizada para se facilitar a comunicação entre intervenientes, até entre as próprias equipas de Plásticos e *Thixo*. Trata-se de um processo de injeção de magnésio, implementada na *Visteon* há cerca de 4 anos, com os mesmos princípios da injeção em plástico, aliados a fundamentos de MIM. Porém, por se tratar de uma MP mais complicada de processar, o método produtivo apresenta divergências relativamente aos Plásticos.

Como nos Plásticos, o sistema de abastecimento de MP é centralizado. A circulação desta é feita através da tubagem existente, que a encaminha para cada uma das máquinas de injeção. Ao contrário dos Plásticos, apenas é injetado magnésio, o que facilita os procedimentos de *changeover* e limpeza do fuso das máquinas. Outra repercussão da existência de material único é que deixa de ser necessária uma pessoa por turno dedicada ao tratamento de MP, pois qualquer técnico de injeção consegue proceder ao abastecimento das máquinas.

A área atribuída à máquina de injeção é designada “célula” e está gradeada, para proteção dos intervenientes. Trata-se de um processo mais perigoso que o de injeção de plástico, que exige vários processos industriais localizados na célula de injeção, sendo que a segurança é prioritária.

Para simplificar a visualização do processo global do *Thixo Molding*, visualiza-se na Figura 21, uma adaptação do sistema produtivo. Neste esquema podem-se visualizar 2 máquinas de injeção a produzir simultaneamente. Numa o PN produzido passa por 2 processos de *trimming* diferentes, enquanto que outro é submetido a 1 de *trimming* e 1 de furação. Em seguida, ambos os PN são encaminhados para o mesmo *Vibra Finishing* e postos de inspeção.

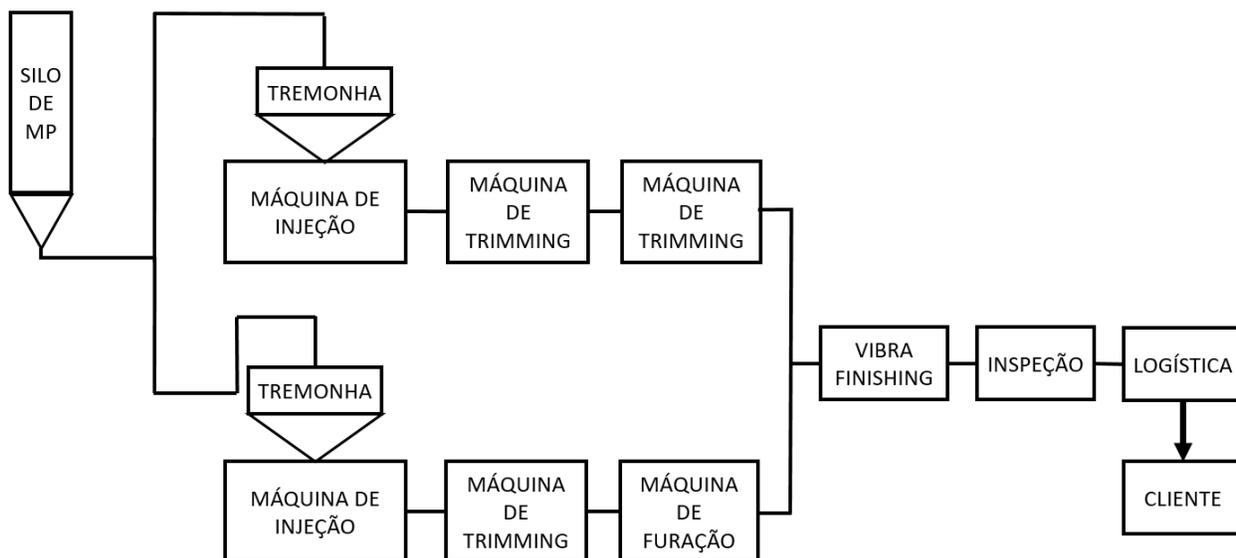


Figura 21: Passos inerentes ao sistema produtivo *Thixo Molding*

A partir do momento em que a tremonha da máquina de injeção esteja alimentada, passa a ser possível produzir. A injeção é feita sob o mesmo princípio que o das máquinas de injeção de plástico, porém trata-se de um processo de injeção a cerca do dobro das temperaturas do fuso de injeção. Os circuitos de arrefecimento do molde estão a temperaturas mais elevadas, excedendo o ponto de ebulição da água (o que leva a que o fluido passante seja óleo). Após a injeção, a peça é extraída pelo robot de extração e outro robot entra na zona de abertura do molde e injeta fluido desmoldante nas zonas moldantes de forma automática. Enquanto isso, o robot de extração coloca a peça numa prateleira de *buffer*.

De seguida, a peça é colocada numa máquina de *trimming* automática que tem como principal função a remoção de rebarbas de processo e corte de jito. Neste processo existe imediatamente um sistema de filtragem de peças defeituosas por questões dimensionais. Os excessos de produção são colocados num mecanismo eletrificado, que transporta o material para um contentor de depósito. As peças OK, são colocadas noutra prateleira de depósito, na eventualidade de ser preciso outro processo de tratamento físico à peça, caso contrário são colocadas num tapete adjacente à máquina, conduzindo esta ao tapete principal, que transporta as peças de todas as máquinas. Existem PN que exigem mais processos de maquinação, como um segundo *trimming*, ou processo de furação, mas o princípio de movimentos automatizados na célula é o mesmo.

O tapete principal tem como destino duas máquinas de *Vibra Finishing* em paralelo. As peças conduzidas, ao entrarem na máquina, são depositadas num canal com pequenos tetraedros cerâmicos, que são arrefecidos por água circulante. O *Vibra Finishing* é encarregue do deslocamento do produto através de vibração, que por estar imerso destes tetraedros, é arrefecido e sofre melhorias nos acabamentos devido ao impacto provocado pela vibração da máquina.

Finalmente, após este processo, estão colocados à saída desse tapete vários postos de inspeção o que resulta numa inspeção de peças em série. Isto é, o mesmo operador pode inspecionar vários PN diferentes a ser produzidos em células diferentes, cabendo ao coordenador a adjudicação dos PN por operador. É nesta posição que é avaliada a qualidade das peças, são feitos acabamentos específicos com recurso a ferramentas manuais, e conseqüente encaminhamento das peças aceites para a equipa de logística, sendo posteriormente enviada para cliente interno de montagem.

Como se constata na descrição anterior, a produção é efetuada pelas máquinas de injeção em paralelo, sendo avaliadas em série. Esta peculiaridade leva a que os postos de trabalho de abastecedores sejam obsoletos neste sistema produtivo. As tarefas de abastecimento são aglutinadas às do coordenador, que trata da integridade dos postos de trabalho de inspeção, todos localizados na mesma área de trabalho.

A linha de produção de injeção *Thixo Molding* apresenta, à data, um conjunto de 7 máquinas de injeção, 2 *Vibra Finishing*, dispositivos de *trimming* e furação alocados a cada célula, e robots de automação para deslocamento entre passos, capazes de se movimentar simultaneamente, segundo a lógica abordada.

Como mencionado, cada máquina está alocada a uma célula de produção. Nestas células, estão agregados todos os equipamentos para processamento das peças e a presença de pessoas dentro destas, durante a produção, é expressamente proibida. Isto deve-se ao constante movimento coordenado de vários robots de diversos graus de liberdade, o que torna a percepção total dos movimentos complexa, em tempo real. Para que estes movimentos sejam programados, é preciso haver um elemento agregador dos sinais dos vários equipamentos. Como tal, cada célula tem um PLC adjacente à porta, para fazer a recolha e controlo de todos os sinais elétricos fornecidos pelos equipamentos, permitindo ainda a fabricação de sinais essenciais à produção. No entanto, constata-se que o aproveitamento feito aos sinais existentes é adaptado exclusivamente ao tempo real, não havendo qualquer tipo de registo ou capacidade preditiva. Isto pode ser interpretado como desperdício do potencial existente neste sistema produtivo tão dependente de automatismos.

É a partir desta ideia base e dos resultados positivos observados aquando da implementação do PCIS que surge a vontade de extensão desta aplicação à linha de *Thixo*. Sendo uma área recente, permite uma maior facilidade de maleabilidade entre o PCIS e o sistema produtivo. Porém, pela mesma razão da recente implementação, é uma área que apresenta processos burocráticos e de contabilização de produção deficitários. Isto sucede devido à prioridade de produção, assim como aos desafios enfrentados

na criação de um sistema produtivo, principalmente num processo inovador e único no país. No entanto, este défice inicial permite que o próprio PCIS cresça com o processo e se adapte de maneira mais intuitiva quando comparado com um sistema produtivo já estabelecido, revelando uma larga margem de progressão.

4.1.1 Análise de Particularidades de Processo e Ineficiências

Ao contrário da linha de produção dos Plásticos, que tem duas décadas de desenvolvimento até ao estado atual, o sistema produtivo *Thixo Molding* foi implementado de raiz há cerca de 4 anos. Isto leva a que as condições de maturação *Lean* entre os Plásticos e *Thixo* sejam diferentes. Os Plásticos possuem a estabilidade sustentada por uma equipa de elevada experiência, que cresceu com o sistema produtivo, bem como o fator tempo, que permitiu a melhoria contínua verificada. O *Thixo* é uma área composta por uma equipa pequena, inexperiente (por se tratar dum processo vanguardista) mas que usufrui da equipa dos Plásticos como suporte ao nível de implementação. É importante reter esta informação, pois apesar de se tratar duma linha de produção recente, foi pensada com base na dos Plásticos, o que levou à prevenção de vários erros verificados nos Plásticos. Fazendo a aplicação de *lessons learned* e evitando recorrência de erros.

Tal como no caso de estudo supracitado, é essencial fazerem-se *Gemba Walks* utilizando a lógica de MP a cliente, pois é através desse fluxo de valor que se consegue obter o maior nível de informação para detetar falhas no processo, pela metodologia adotada.

A tarefa de recepção de MP é efetuada pelos técnicos de injeção, que são encarregues da devida colocação do silo em posição. Por ser uma área de produção de MP única, os lotes são em grandes quantidades (1 tonelada), e o sistema de circulação do material é responsável pelo abastecimento das 7 máquinas de injeção. Dado que o magnésio é utilizado para a injeção de todos os PN e que, comparativamente a qualquer MP dos Plásticos, é mais denso, existe alta cadência na troca de silos. Em funcionamento pleno da linha, troca-se o silo de 1 tonelada a cada 2-3 dias. Os registos de recepção de material são imediatamente transmitidos ao Engenheiro de Processo, de forma a rastrear potenciais lotes de qualidade inferior ao padrão. No entanto, tal não se verifica por se tratar de MP única. Assim que se verificasse um caso de magnésio com défice de qualidade, este seria imediatamente detetado pois todas as peças estão dependentes deste, e o fornecedor não se pode sujeitar à perda da *Visteon* como cliente. Assim sendo, é uma área da linha de produção com poucos problemas acrescidos. Porém, é essencial ter cuidado no manuseamento do material por ser de carácter explosivo, tendo já ocorrido casos de fogos/explosões, tanto na *Visteon*, como noutras companhias.

Ao nível do planeamento de produção, é uma linha que acarreta menos complexidade uma vez que possui menos moldes e PN disponíveis para produção, assim como máquinas de injeção. Logo, não existe tanta necessidade de *changeovers*, o que torna o planeamento mais fácil de gerir. Também o facto de a

produção funcionar de forma recorrente a 6 dias por semana contribui para este facto. A informação é transmitida pelo Engenheiro de Produção (o mesmo da área dos Plásticos) através do recurso a um quadro situado na linha, tal como anteriormente acontecia nos Plásticos.

Os técnicos de injeção, ao tomarem conhecimento do plano de produção, são responsáveis pela colocação das máquinas de injeção em funcionamento, e assegurar o seu decurso sem percalços. No início de cada turno são responsáveis pela supervisão da qualidade das peças em produção, assim como pelo registo de validação individual de máquina e PN. Para tal, recorrem ao mesmo modelo de folha de produção mencionado na área dos Plásticos. Porém, o preenchimento destas folhas, nesta área, é de exclusiva responsabilidade dos técnicos. Isto foi implementado de maneira a aliviar a carga de trabalho dos especialistas de inspeção, e para combater a entropia comunicativa verificada na equipa dos Plásticos. Quanto menos pessoas envolvidas num processo, menor a possibilidade de haver extravio de informação. O número de peças produzidas pode ser consultado no molde, enquanto que as peças aprovadas e o tipo de defeitos encontrados são contabilizados pelo operador. Esta questão levanta de novo a contradição de extravio de informação entre equipas. Logo, este ponto chave é deduzido como um factor grave de falha na contabilização de produção. Posteriormente, as folhas são recolhidas pelo coordenador e entregues ao Engenheiro de Processo, que tem o dever de tratar a informação PN a PN, turno a turno.

Como já foi abordado, o modelo produtivo, apesar de ser feito através de máquinas a funcionar em paralelo, chega aos operadores em série. Cabe ao coordenador, no início de cada turno, definir quais os PN serão inspecionados em cada um dos 4 postos de inspeção disponíveis. Compete ainda ao coordenador fazer esta distribuição de forma responsável e acutelada, tendo em conta a carga de trabalho que cada tipo de peça exige e conseguir integrar nessa escolha o nível de experiência de inspeção que cada PN necessita.

Outra responsabilidade exclusiva ao coordenador é assegurar a realização do controlo dimensional da produção. Como na área de Plásticos, existe uma equipa de Qualidade alocada ao *Thixo*, e cabe ao coordenador no início de cada turno entregar uma peça de cada cavidade de cada PN ao técnico de Qualidade responsável pela CMM. Daí serão extraídos os valores funcionais da produção corrente, bem como a previsão de necessidade de intervenção no molde. O processo de injeção de magnésio é mais desgastante para o molde, o que mesmo com a intervenção de fluido desmoldante a alta pressão, pode resultar no acumular de material na superfície moldante. Este defeito pode resultar em graves problemas funcionais em lotes inteiros de produção, logo é essencial haver um controlo dimensional e fazer-se a previsão de desvios de valores. Caso se note que os valores começam a desviar-se dos valores toleranciados, ou normalmente medidos, o responsável da Qualidade notifica o coordenador, que consequentemente avisa os técnicos de injeção e *Tool-Room*. Este controlo por CMM é feito a cada PN de 4 em 4 horas, sendo que é intercalado (passadas 2 horas da última medição efetuada) por controlo via calibre em detalhes críticos da peça. O coordenador é responsável pela periodicidade deste controlo e

pela realização do controlo pelo método de calibre. O controlo logístico de toda a produção faz ainda parte dos seus deveres, dado que é uma área cujo posto de abastecedor não existe. É um posto de trabalho de elevada responsabilidade, de gestão pessoal e até material, podendo levar a falhas de comunicação e lapsos caso não esteja devidamente suportado.

Aos especialistas de inspeção, é-lhes exigida a responsabilidade de avaliação da qualidade individual de cada peça e seu empacotamento. O processo de injeção de magnésio, mesmo com passos de maquinação *trimming* e furação, leva a várias imperfeições estéticas nas peças, logo o operador pode ainda ter de executar acabamentos nas peças, previamente ao seu empacotamento. Para estes acabamentos, os especialistas dispõem de um conjunto de ferramentas organizadas num compartimento específico no posto de trabalho, às quais recorrem para proceder ao retrabalho das peças. Também como ferramenta de suporte, os especialistas possuem no posto de trabalho uma QPS por PN, para que nenhum procedimento seja efetuado de forma incorreta. Trata-se de um processo de avaliação mais detalhado que nos Plásticos, não só por se estar a avaliar a produção de mais do que uma máquina, mas também porque o processo de injeção e as diferentes aplicações de cada PN suscitam diferentes tipos de defeitos. Enquanto que nos Plásticos, uma gama de 10 tipos de defeitos cobre toda a produção, o mesmo não se verifica no *Thixo*, tendo cada PN defeitos particulares do processo de injeção, maquinação na célula, ou até resultante do *Vibra Finishing*. É portanto essencial que o sistema desenvolvido tenha em conta a flexibilidade necessária ao processo de inspeção, tendo em conta a variabilidade de defeitos e tipo de inspeção de várias peças diferentes.

Tal como mencionado anteriormente, o processo de injeção de magnésio é altamente abrasivo para os moldes, o que leva a que os ciclos de manutenção preventiva ou corretiva sejam muito curtos. Como tal, para não haver uma sobrecarga desnecessária da equipa de técnicos do *Thixo*, a equipa de *Tool Room* e Manutenção é partilhada entre Plásticos e *Thixo*. Porém, a área de *Thixo Molding*, usufrui de uma *Tool Room* particular, onde os trabalhos corretivos de rápida intervenção ou de prioridade muito elevada podem ser executados, de forma a reduzir os desperdícios *Muda* de transporte e espera. Esta equipa é ainda responsável por intervenções corretivas nas máquinas ou moldes durante paragens da produção.

Estas paragens ocorrem de forma recorrente, independentemente do molde ou máquina de injeção. Isto deve-se não só à instabilidade do processo, como também à necessidade de coordenação com mais etapas de manufatura. Por exemplo, uma das causas mais frequentes de paragem de células de injeção é o mau posicionamento da peça no *fixture* para processo de *Trimming*. Tratam-se de ajustes milimétricos e de difícil correção, pois as rebarbas das peças são instáveis e os robots apresentam margens de erro micrométrica. Estas margens são amplificadas entre diferentes estações de posicionamento pois são acumuláveis, e em postos mais avançados de processamento do material evidenciam-se, interrompendo todo o funcionamento da célula de injeção. Este exemplo representa um dos tipos de paragem, contudo existem vários, sendo que a grande maioria é de resolução quase imediata, consoante o sinal emitido pelo

PLC. Não é um processo tão contínuo quanto o de injeção de plásticos, mas é geralmente de resolução rápida, quando tratado por uma equipa eficiente. Esta intermitência de produção deve ser tida em conta para o sistema desenvolvido em torno deste sistema produtivo.

Como implícito na descrição do caso de estudo presente, este sistema produtivo está em sub-aproveitamento, ao nível de controlo de sinais, tendo em conta a disponibilidade elétrica existente. Sendo um processo industrial tão dependente da comunicação entre dispositivos elétricos, deve haver uma maior aquisição dos sinais transmitidos pelos equipamentos. Cada célula de injeção tem alocada um PLC que serve para agregar toda a informação disponível. Porém, nenhum dos sinais é utilizado, excluindo a mensagem automática de desbloqueio da produção aquando de uma interrupção na produção. Não existe qualquer tipo de rastreamento ao sucedido, nem nenhum registo das paragens e erros. É ainda desvalorizada a possibilidade de criação de sinais elétricos indiretos, isto é, que através da conjugação de outros sinais, representem uma atuação física específica. Como tal, o sistema a criar deve combater este desperdício de potencial elétrico ao nível de compreensão da linha de produção, de prevenção de erros e até de segurança para os recursos humanos disponíveis tendo em conta o risco inerente a algumas causas de paragem neste processo.

4.1.2 Soluções encontradas para a divergência de Processos

Após a análise retirada dos *Gemba Walks*, chega-se à conclusão de que a área do *Thixo Molding*, apesar de bastante avançada do ponto de vista de processo, e de organização, retém práticas incorretas ao nível burocrático. Tendo em conta de que o modelo base de sistema a implementar é o aplicado nos Plásticos – PCIS –, deve haver uma adaptação deste sistema ao processo *Thixo*. Esta adaptação deve aplicar as *lessons learned* obtidas da implementação dos Plásticos, porém deve abranger as ineficiências levantadas, assim como as peculiaridades inerentes ao processo de injeção de magnésio. Como tal, para que se solucionem as adversidades encontradas nas divergências entre processos e nas imperfeições da linha de produção, foi posta em prática a seguinte abordagem.

Primeiro, tendo em conta o maior potencial elétrico verificado nos PLC das células, em vez de se adquirir apenas 2 sinais (caso PCIS), neste caso adquirem-se 20 sinais – entre sinais da máquina de injeção, *trimming*, furação, tapetes e robots da célula, *Vibra Finishing*, e outros. Este conjunto de sinais permite de melhor forma estabelecer os diferentes processos de manufatura ao longo do processo e, em caso de paragem ou defeito, registar de forma automática no *Thixo Computerized Integrated System (TCIS)* a sua determinação. Permite ainda fazer a contabilização total das peças produzidas, rejeitadas no interior da célula (sem chegar à inspeção do operador) e, conseqüentemente, o número de peças OK pós-célula. Estes sinais passam a ser transmitidos ao módulo de aquisição do TCIS via wireless, e são controláveis computacionalmente, o que torna o sistema mais ajustável.

Um dos maiores desafios encontrados na concepção deste sistema foi a sua adaptação ao sistema produtivo em paralelo, com inspeção em série. A navegação entre menus tem de ser simples, quer para os técnicos, quer para os operadores, para não criar entropia desnecessária. Nesta área, verifica-se que o preenchimento burocrático de início/fim de produção e início/fim de turno é exclusivo ao técnico. Como tal, para minimizar as interações entre operador e técnico, de forma a não criar conflitos nos postos de trabalho, foi colocado um PC para uso exclusivo dos técnicos, onde estes podem validar todas as produções em série. Assim, poupam tempo comparativamente ao preenchimento das folhas, verificam o planeamento do turno, e antecipam possíveis erros sem necessitar de interferir com o trabalho de outras equipas.

Para se solucionar a questão da inspeção ser feita a vários PN em simultâneo concebeu-se um menu intermédio (Figura 22) para o utilizador que lhe permite escolher de entre todos os moldes em produção, quais os que pretende visualizar. Dado que os PN a serem inspecionados são fixos à pessoa e estabelecidos no início de cada turno, passa a ser procedimento base que o operador defina quais as peças à sua revelia.

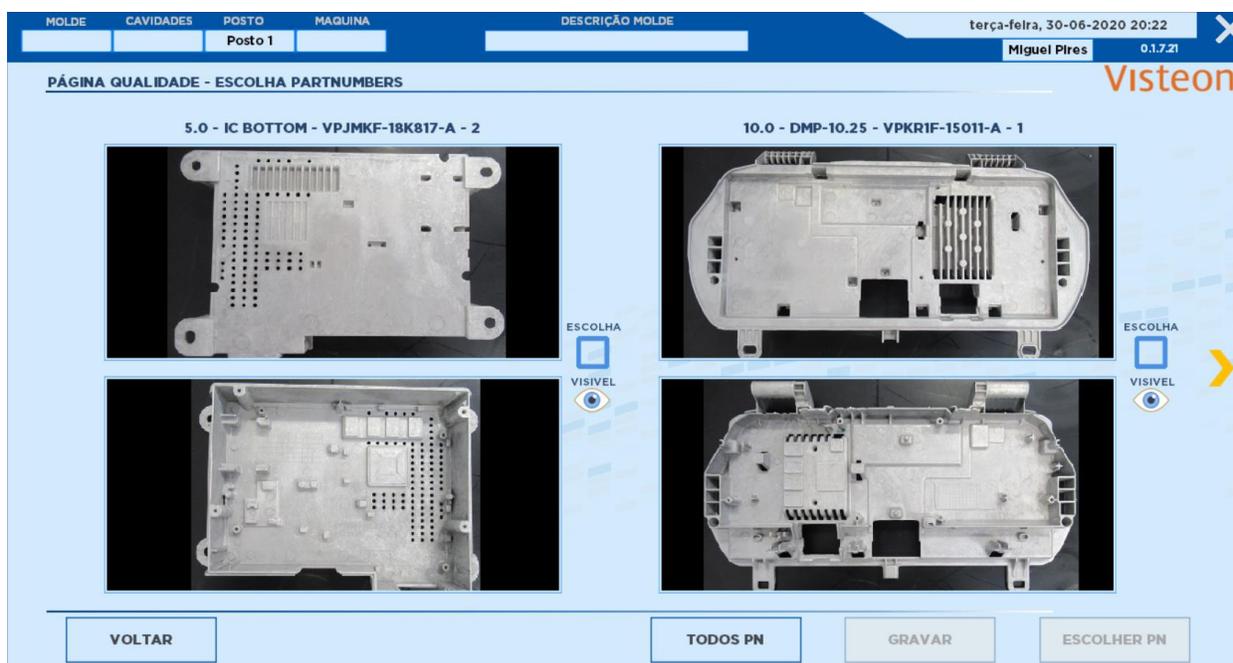


Figura 22: Menu de Escolha de PN para inspeção – TCIS

Após realizar a escolha dos PN que pretende inspecionar, seleciona um deles e entra no menu de Qualidade, com várias semelhanças ao do PCIS. Contudo, neste ecrã passa a ser possível navegar entre os vários PN alocados ao posto em questão, facilitando assim o manuseamento do sistema ao utilizador. É nessa interface que o operador interage com o sistema, quase exclusivamente ao longo do turno, principalmente tendo em conta que já não tem a responsabilidade de efetuar outras tarefas. Em caso de

troca de posto de trabalho, o primeiro encargo a realizar pelo operador é o de verificação da seleção correta das peças a inspecionar, para posteriormente apontar os defeitos nas páginas correspondentes. Outra inovação acrescentada nesta aplicação é a possibilidade de inserção de defeitos por cavidade, o que ao nível de relatório complementa ainda mais a informação retirada da linha de produção. A possibilidade de acesso a *WARE*, Menu de Paragens e QPS continua a ser possível, assim como o alerta das tarefas de supervisor (CMM e calibre) também está implementado de forma a facilitar a execução e registo das mesmas tarefas. O menu abordado pode ser observado na Figura 23. Ao nível da inspeção, a maior disparidade verificada dos Plásticos para o *Thixo* é a quantidade de tipo de defeitos diferentes por PN. Existe uma variabilidade muito superior à constância constatada nos Plásticos, o que leva a que o sistema se tenha de adaptar. Assim, estabeleceu-se como limite 16 tipos de defeitos diferentes, e criou-se um menu de criação de tipos de defeitos, sendo que posteriormente são feitas as correspondências entre tipo de defeitos disponíveis e os PN que necessitam de apresentar esse defeito na lista. Daí que na listagem observada na Figura 23 haja linhas sem espaço atribuído, dado que esta peça em exemplo não necessita dos 16 tipos de defeitos preenchidos.



Figura 23: Menu de Qualidade TCIS com as devidas adaptações ao *Thixo*

Uma das principais características identificadas nos *Gemba Walks* foi a dependência do processo nos sinais elétricos, sem que haja qualquer registo ou aproveitamento à *posteriori* do mesmo. Consequentemente, através do conjunto de impulsos adquiridos pelo módulo do TCIS, concebeu-se um menu de Paragens mais completo.

Como mencionado na secção 4.1.1 existem várias micro-paragens em todas as produções ao longo de um turno. É então essencial que este tipo de interrupções na produção não se torne um entrave à

compreensão da linha. Para que tal aconteça, sem que o impacto destas seja desconsiderado, encontrou-se a solução de criar um contador de paragens. No momento em que a produção é interrompida, o módulo adquire o sinal correspondente ao equipamento em falha, abre uma paragem de produção e alerta o técnico por diversos sinais luminosos, assim como sonoros. Durante a resolução, o técnico é auxiliado pela informação do sistema e, após resolver o problema, o sistema conta o tempo total dessa interrupção. Caso o tempo de resolução seja inferior a 5 minutos, a paragem é guardada com o tipo 'Micro-Paragem' e causa correspondente ao sinal em falha. Caso seja superior a 5 minutos, o técnico é obrigado a justificar o tipo de interrupção de produção e a sua causa, manualmente, no PC atribuído aos técnicos. Assim, não se cria entropia excessiva ao forçar os técnicos a justificações constantes das paragens, obtém-se a causa das mesmas para estudo e consegue-se ainda estabelecer um procedimento para registo de relatório para o caso de a interrupção poder comprometer os objetivos de produção. Outra vantagem neste método de aquisição de sinais é que um dos sinais adquiridos corresponde à interação de desbloqueio do sinal de emergência/paragem da máquina. Isto permite que seja possível adquirir o tempo médio de resposta e tempo médio de resolução, em vez do somatório correspondente ao total da interrupção de produção, aumentando o conhecimento do comportamento da linha e equipa.

Este sistema é uma adaptação do PCIS, o que fez com que funções essenciais como a carregamento do plano, disposição da linha de produção, entre outras, se mantivessem. Apesar disso sofreram pequenos ajustes para que estejam em completa concordância com os objetivos pretendidos pela equipa de Engenharia. Enquanto que outras funções, como a de MP, foram retiradas por se terem tornado obsoletas com a mudança de projeto.

Devido aos resultados positivos observados em ambas as linhas de produção, desenvolveu-se uma funcionalidade final com a perspetiva de expansão futura. Para haver um controlo contínuo das altas chefias da companhia, é preciso que estas tenham acesso à aplicação. No entanto, além das equipas de ambas as áreas, ninguém possui acesso à aplicação. Assim, criou-se uma página *HTML*, com acesso via IP dos servidores, com acesso a uma imagem que permite qual das áreas se pretende supervisionar, como se observa na Figura 24. Após selecionar a linha, pode-se visualizar a página de disposição das máquinas de injeção de cada linha e, ao premir sobre uma, tem-se acesso ao menu de Qualidade de cada produção. Desta forma consegue-se ter um controlo preciso de cada máquina de injeção em qualquer momento, controlando paragens, defeitos de produção e KPI operacionais. Desde que, para isso, haja acesso à Internet através duma rede *Visteon*, ou por *Virtual Private Network (VPN)*.

Visteon



© 2019 Visteon | Made by Bigonsoft

Figura 24: PCIS versão *web*, com acesso em tempo real por VPN

4.2 Proposta de Metodologia de Implementação Digital

Durante a fase de concepção do projeto foi feita uma investigação de estratégias para implementação de sistemas digitais em linhas de produção. No entanto, por se tratar de um processo relativamente recente, ou por questões de confidencialidade, a informação encontrada foi reduzida. Devido aos resultados positivos obtidos durante a implementação digital em ambas as linhas de produção, pretende-se com esta secção do documento que os resultados obtidos nesta experiência possam ser aproveitados futuramente. Assim sendo, criou-se uma metodologia baseada na aplicação do processo de implementação digital presente.

Como ponto de partida, deve-se definir qual o processo industrial a converter e as necessidades deste. É importante que estejam claras as intenções de produção, previamente ao objetivo do sistema digital produtivo. À partida, a informação de qualquer processo pode ser convertida digitalmente, porém podem existir processos inviáveis e uma breve estipulação das necessidades do processo pode clarificar ideias de transição digital.

Em seguida, deve haver uma definição das prioridades pretendidas no processo de digitalização. Como tal, neste passo devem estar presentes as chefias para que haja um consenso base acerca dos pontos indispensáveis a englobar no sistema digital. É neste ponto que se definem situações como quais os KPI a extrair da linha de produção, ou o tratamento desses dados e a forma como a informação chega aos diferentes intervenientes da linha, de gestão e externos. A prioridade das chefias tende a ser baseada nos diferentes meios de Gestão Visual, o que ajuda a estabelecer o esboço pretendido no sistema.

É também neste ponto que se estabelece a infraestrutura digital por questões de possibilidade informática da companhia. Trata-se de um processo que não é necessariamente abrangido pelas chefias, todavia é indispensável na definição do processo de digitalização. A maneira como se irá criar a estrutura digital capaz de suportar a computação do sistema pode determinar o sucesso e insucesso deste. Para os casos de estudo presentes utilizaram-se servidores físicos, mas existem possibilidades como a utilização de servidores descentralizados que facilitam à implementação da I4.0. Estes possuem a capacidade de aquisição de sinais virtualmente infinitos, ao contrário dos servidores físicos (limitados às entradas dos módulos, *switches* e servidores) e estimulam a conectividade entre equipamentos por rede. Contudo, nem todas as empresas permitem o recurso a estas ferramentas, o que se verificou na *Visteon* por questões financeiras, verificando-se também limitações ao nível de privacidade e segurança cibernética. Os servidores físicos apresentam ainda entraves ao nível de passagem de cabos, questão que nos casos práticos se revelou problemática. O alcance de sinal dos cabos pode ser insuficiente em grandes naves fabris, assim como a perda de sinal por campos eletromagnéticos originados pelo funcionamento máquinas. Do ponto de vista do desempenho dos servidores, estes podem-se revelar insuficientes a processar informação com o crescer do sistema e acumulação de funções ou sinais adquiridos. Ineficiência

essa que se pode tornar limitativa e resultar em lentidão excessiva (que descredibiliza o sistema) ou até investimento extra para melhoria do equipamento existente, enquanto que em servidores descentralizados, estas questões não se levantam, apenas a de investimento.

Após decorrida a definição do sistema digital deve-se adquirir as especificidades do processo e as exigências estabelecidas para a aplicação. Para tal, deve-se recorrer aos *Gemba Walks*, de maneira a que se consiga perceber o impacto de cada ação e as particularidades inerentes ao processo a digitalizar. A observação efetuada ao longo deste processo deve ser catalogada em três tipos: físico, digital e *Lean*. Na categoria de processos físicos, encontra-se tudo o que é impossível de realizar digitalmente, como a injeção, deslocamentos, passagem de cabos e etapas complementares ao processo. No digital, encontram-se os processos já efetuados digitalmente – impressão de FIFO ou registo de manutenções – e os que apresentam potencial de realização digital – registos de MP, distribuição de planos de produção, ou contabilização de produção. Já os *Lean*, tratam-se de processos observados que promovem desperdícios e que devem ser corrigidos previamente à implementação digital.

Para se estabelecer estas observações nos *Gemba Walks*, devem ser acompanhados pela equipa de Engenharia ao longo do fluxo contínuo MP-Cliente do processo. É através desse acompanhamento que as prioridades da equipa serão definidas, enquanto se observam ainda as particularidades específicas do processo. Por exemplo, a característica verificada no *Thixo* de produção em paralelo e inspeção em série. Ao longo deste acompanhamento é feita uma aprendizagem acerca das possibilidades existentes eletricamente, que irão alimentar a infraestrutura digital definida anteriormente. É neste ponto que são identificados os equipamentos envolventes ao sistema e, com as suas capacidades, potenciar a automatização de processos, passando-os do campo físico para o digital. É ainda nesta fase de observação que se estabelecem as necessidades da linha, definidas em função das necessidades apresentadas pela equipa de Gestão. Neste ramo incluem-se funcionalidades como a importação do planeamento, contabilização automática das peças por PN, apresentação dos KPI operacionais e contabilização de paragens.

Posteriormente, a equipa de Desenvolvimento deve proceder a nova realização de *Gemba Walks* por si só. Assim, consegue a perspectiva sem que se dêem influências externas, o que permite uma abordagem diferente à da equipa de Engenharia, habituada a lidar com os problemas da linha diariamente. Com este método, consegue-se ainda que a produção ocorra naturalmente, assim como uma reação uniformizada por parte de todos os intervenientes. Na prática, trata-se de uma auditoria informal, sem os riscos inerentes a uma má avaliação de entidades externas, que podem resultar em problemas de negócio. Dado que é do interesse de todos os intervenientes da linha que o levantamento seja efetuado corretamente, estes acabam por ignorar a presença da equipa de Desenvolvimento, procedendo às suas tarefas normais diárias. É nesta fase que, em caso de dúvidas, estas sejam colocadas a qualquer pessoa relacionada com o processo em causa. Estes colaboradores, ao lidarem diariamente com uma determinada função,

apresentam opiniões com conhecimento de causa que, se alinhado com os interesses de Gestão e Engenharia, devem ser introduzidas, para a melhoria das condições de trabalho.

Quando o levantamento das melhorias imediatas a executar for finalizado, deve-se proceder à sua correção. Dessa forma garante-se a prontidão da linha de produção para implementação digital. É neste momento que a possibilidade de digitalização se consolida e se torna um conceito, sendo o próximo passo a concepção do mesmo. Para tal, devem ser realizados os algoritmos e esquematizadas as correlações entre menus e funcionalidades. De notar que na criação destas se tem de ter em conta a facilidade de navegação entre menus, consoante as tarefas exigidas aos utilizadores.

No caso da *Visteon*, a codificação foi executada externamente, o que torna o passo de programação redundante. Porém os algoritmos devem ser executados por alguém com experiência das necessidades da linha para que a integridade do sistema não seja comprometida, nem as exigências do cliente. Após a aquisição do material, instalação, criação da infraestrutura digital e física, assim como codificadas todas as funções definidas, o sistema desenvolve para a fase de testes.

Esta é a fase crítica da implementação. É nesta altura que a robustez do sistema é posta à prova, bem como a comparação entre o resultado pretendido e o obtido. É normal que existam divergências, ou que o sistema contenha *bugs* referentes a cenários não equacionados nos algoritmos. Portanto, torna-se de urgência extrema que a solução para os mesmos seja encontrada o mais rapidamente possível. Isto deve-se não só a questões de satisfação do cliente do sistema, como também da própria equipa que dele usufrui. Previamente à imposição deste sistema os processos eram efetuados analogicamente e a transição para o digital deve ser o mais fluída possível. Quanto maior for o tempo de correção de um *bug*, maior o nível de descredibilização entre os utilizadores e o conflito gerado entre os mesmos e a equipa de Desenvolvimento.

Neste aspecto, da experiência constatada, são os *bugs* que afetam as equipas menos influentes que geram maior atrito. Isto deve-se a se tratarem das pessoas que sentem ter menos peso e, simultaneamente, mais prejudicadas com a implementação destes sistemas. São também (geralmente) as pessoas com menos à vontade na manipulação de tecnologias recentes, o que pode criar alguma inércia na aprendizagem. Caso se consiga estabelecer abertura à aprendizagem no momento de formação, torna-se possível instruir os benefícios do sistema, o que estimula o utilizador a perceber o seu funcionamento, como referido na secção 2.1.5 do presente documento.

Os *bugs* que envolvam funções mais amplas, quando não interferem com o funcionamento crítico do sistema, não causam tanto transtorno ao nível de aplicação. Isto por serem maioritariamente direcionados para a equipa de Engenharia e, principalmente, de Gestão, que tem melhor percepção da prioridade de funcionamento na linha. Assim, consegue conceder mais tempo à resolução desses problemas, em prol da equipa num todo.

Para facilitar a implementação da nova aplicação, utilizou-se um método de introdução de funções por módulos. Isto é, cada menu foi introduzido à vez, de maneira a que os utilizadores se acostumassem a cada um individualmente, enquanto os possíveis *bugs* existentes eram corrigidos. Desta forma, a aprendizagem revelou-se bastante instintiva, sendo que para os últimos módulos, mesmo que mais complexos, foi exigida uma menor explicação. Numa situação tão disruptiva de procedimento normal de trabalho, é providencial que seja facilitada a nova rotina sendo que esta estratégia revelou-se bastante positiva.

Outro método crucial à excelente receptividade encontrada na grande maioria dos utilizadores foi o de inclusão na tomada de decisão. É evidente que as exigências da linha de produção, de Gestão, e Engenharia, têm de ser respeitadas por esta ordem hierárquica. Porém, caso haja liberdade na tomada de micro-decisões, estas devem incluir a opinião de todos os intervenientes da linha de produção. Quando as funções entram na fase de teste encontram-se a cerca de 90% do seu resultado final. Os pequenos ajustes devem ser conciliados com as sugestões das equipas, para que assim se consiga um maior encadeamento pessoal, aumento de moral transversal, sentido de pertença na nova política de equipa e até, de defesa do sistema.

Finalmente, quando a fase de *Bug-Fix* está concluída o novo conceito é posto à prova e testado. Não encontrando mais nenhum erro nessa função, esta é dada por implementada. No entanto, deve ser imposta uma mentalidade de melhoria contínua, para tal deve-se voltar de novo ao terreno para observar hipóteses de melhoria. Este processo corresponde a um pequeno ciclo PDCA, como se pode visualizar no esquema da Figura 25. Tendo conseguido implementar uma mentalidade de brio e pertença na criação do sistema, os próprios utilizadores irão sugerir ideias a implementar, o que demonstra validação dos intervenientes.

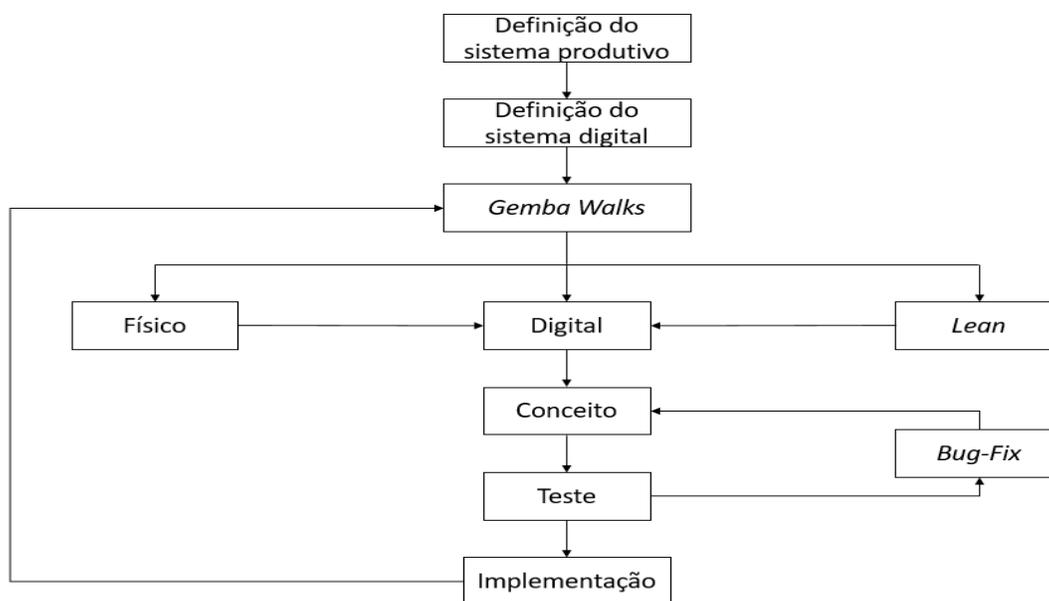


Figura 25: Esquema da metodologia de implementação global de processos digitais

4.3 Limitações, Dificuldades enfrentadas e Resistência à Mudança

Independentemente do sistema a aplicar, o processo de digitalização de uma linha de produção tem sempre limitações ou precalços de implementação, e tanto o PCIS como o TCIS validam essa condição. Durante o processo de análise do potencial elétrico da linha de produção, consegue-se retirar uma primeira impressão das limitações que serão criadas aquando da digitalização. Isto porque quanto maior for a capacidade de integração, mais precisa será a informação distribuída entre os intervenientes, caso seja tratada convenientemente. Pelo documento presente, consegue-se extrair que a linha de *Thixo* tem uma maior capacidade de integração, devido à centralização dos equipamentos na célula de injeção. No entanto, através de mecanismos (como os *Poka Yoke*) criados para os processos da linha dos Plásticos, conseguiu-se ultrapassar algumas das limitações existentes. Mesmo as limitações evidentes ao nível dos sinais adquiridos pelo módulo PCIS podem ser corrigidas no futuro, através da integração dos equipamentos periféricos no PCIS, seja por método físico ou na *Cloud*.

Ao nível de processo, constata-se também as próprias limitações do sistema. Um exemplo claro dessas limitações é o tempo disponível por peça para inspecionar e registar eventuais defeitos. Os sistemas digitais servem para complementar a informação extraída das linhas, no entanto a sua utilização nunca pode comprometer a qualidade da produção. Como tal, caso o processo de registo de defeitos seja demasiado exaustivo, o utilizador deixa de estar compenetrado na utilização do sistema, pois a sua prioridade é sempre a produção. Havendo situações, em ambas as linhas, em que o operador tem de navegar entre menus para registar os defeitos acrescentando a isso tem ainda de clicar no ecrã, (pelo menos, mais de 5 vezes) o seu nível de empenho decresce e a fiabilidade dos resultados extraídos também. É, por isso, providencial que os menus sejam sucintos e intuitivos, para facilitar o trabalho ao operador, levando ao aumento da qualidade do sistema e seus dados.

Existem ainda limitações da conciliação dos sinais disponíveis com o processo em si. Devido à utilização de tapetes eletrificados, existirá sempre um atraso no registo das peças para com o impulso extraído da máquina. Isto pode levar a problemas de identificação de defeitos, e impossibilita impressão automática de etiquetas para as caixas.

Devido às limitações inerentes ao sistema, surgiram algumas dificuldades. Estas dificuldades apresentaram-se nos campos do próprio conceito do sistema, versatilidade do mesmo e até na colaboração por parte dos intervenientes indiretamente envolvidos na sua implementação. Relativamente ao conceito do sistema, verificou-se que o ajuste à realidade industrial da navegação entre menus foi extremamente complexo. Para ser de aplicação prática, a navegabilidade é dos fatores mais importantes num sistema, e tendo em conta a quantidade de tarefas a englobar, foram levantadas algumas dificuldades. Entre estas, a criação do algoritmo da leitura do ficheiro *Excel* que agrega o planeamento diário nos Plásticos. Trata-se de um ficheiro base, com curta margem de mudança instantânea, no entanto,

identificar todos os casos da importação e criar o algoritmo capaz de abranger todas as situações verificou-se ser uma tarefa árdua. Esta funcionalidade, como a maioria das funcionalidades do sistema, foi colocada no ativo antes de se chegar à sua versão final, o que originou alguns erros na interpretação do plano e criação de *changeovers*/arranques que não deveriam ter ocorrido.

Esta proposta de implementação em processo de melhoria contínua permitiu o aumento do nível de envolvimento por parte de todas as equipas. O sistema quando ativado, encontrava-se muito perto da forma final em cada função, porém, houve detalhes a ser incluídos posteriormente devido a sugestões dos restantes colaboradores. O sentimento de contribuição, desenvolvimento e colaboração instituído durante este projeto fez com que todos os trabalhadores da linha desde operadores a *Senior Manager* apresentassem propostas de ideias a implementar. Esta dinâmica criada elevou o nível de encadeamento, pois, por apresentar resultados quase imediatos, os colaboradores verificavam em tempo real a implementação das suas sugestões, como previsto na secção 2.1.5. Assim, conseguiu-se diminuir a resistência à mudança no momento de digitalização e aumentar a moral dos trabalhadores, enquanto se incutia indiretamente o espírito de melhoria contínua. Isto tornou-se possível devido à obrigatoriedade inicial de o sistema ser versátil. Sendo que, apesar de se ter tentado executar todas as ideias sugeridas, algumas não eram exequíveis ou entravam em conflito com as necessidades da linha.

Para o responsável pelo Desenvolvimento, a prioridade foi o funcionamento fluído da linha de produção com o sistema, o que gerou atritos com os intervenientes da área. É certo que, para a grande maioria dos casos, foi apenas necessária a realização de formações individuais, assim como a criação de uma QPS do sistema, para que os procedimentos fossem interiorizados. No entanto, para casos particulares, e em especial, para alguns membros da equipa de técnicos, a abordagem teve de ser ligeiramente diferente. Os casos particulares mencionados, são referentes a pessoas de carácter conflituoso e, até de insubordinação. Para resolver esta questão, foi clarificado de que não é o sistema que está em incumprimento caso não tenha as tarefas executadas, tendo sido dadas formações extra e assim como implementadas funções básicas no sistema por sugestão dos mesmos. Desta forma conseguiu-se mediar os conflitos mais críticos. Já para os técnicos, o procedimento foi mais exaustivo. Como referido no Capítulo 3, a equipa de técnicos apesar de estar encarregue do preenchimento das folhas de produção alocava o esforço aos operadores. A juntar a esse facto, trata-se de uma equipa com muita experiência na linha, acostumada a não realizar tarefas burocráticas. Como tal, qualquer que fosse a mudança a introduzir teriam de declarar as suas ações. Tendo em conta que não só passam a ter de executar tarefas burocráticas, como o têm de fazer digitalmente, a mudança brusca foi vista como um desafio à equipa. Este caso foi de difícil resolução, tendo apenas sido extinto através da colaboração com os coordenadores e com os técnicos mais jovens, fazendo deles pessoas-chave na mediação procedimentos do sistema. A atribuição de responsabilidade aos coordenadores aumentou a moral da equipa, que fez com que as medidas de coerção (por imposição) aos técnicos fossem reduzidas, acabando eventualmente por acatar as novas tarefas e até por se envolverem na criação de funcionalidades.

5 Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

5.1 Conclusões

No presente documento está registada a transição de dois sistemas produtivos distintos para o mundo digital. Esta transição foi feita através de uma análise inicial com recurso a ferramentas do *Lean Manufacturing*. Com esta análise conseguiu-se identificar e otimizar os processos com ineficiências, de maneira a que a digitalização nas linhas de produção fosse aplicada aos sistemas estando estes o mais *Lean* possível.

Após efetuada a análise às linhas, consegue-se identificar as suas ineficiências e proceder à sua correção. Durante esta correção é feito o estabelecimento dos processos que podem transitar para o mundo digital e criam-se outros para otimizar a qualidade do trabalho realizado. A introdução do processo de controlo de MP por análise do MFI, controlo dimensional com recurso a *software* CMM e estabelecimento de mecanismos *Poka-Yoke* são exemplos práticos das melhorias realizadas na linha de produção com recurso à automação e a equipamentos de precisão.

Com estas ferramentas conseguiu-se aumentar a robustez do sistema produtivo. Adicionalmente, com o objetivo de integrar todos os processos envolventes à linha de produção concebeu-se um sistema capaz de agregar todos os dados dos equipamentos disponibilizados e tratar essa informação. O PCIS surge com o intuito de centralizar esses dados e sinais dos equipamentos para facilitar a forma como a informação neste sistema produtivo é tratada. Foi criado especificamente para a linha de injeção de Plásticos da *Visteon*, Palmela, o que o torna único. Isto facilitou a sua implementação, sendo possível moldar as intenções pretendidas na aplicação e acrescentar novas funcionalidades consoante a necessidade da linha. Para tal, foi necessário estabelecer o potencial de sinais elétricos existente e definir o que se pretende dos mesmos. Com este ponto clarificado, obtém-se a capacidade de interligação de dispositivos, automatizando processos e trocas de informação entre os mesmos.

O facto de ter sido uma aplicação implementada por módulos facilitou a aprendizagem dos utilizadores e a abordagem de trabalho em equipa fez com que a adaptação ao novo sistema fosse na sua grande maioria muito positiva. Por se tratar de um sistema que apresentou imediatamente melhorias na qualidade de trabalho das equipas, o nível de receptividade foi elevado, o que elevou a moral do grupo de trabalho.

Um dos grandes defeitos verificado na análise à linha foi o fraco nível de qualidade comunicativo, que gerava entropia e desperdícios diários constantes. Havendo uma aplicação, acessível a todos, capaz de agregar as necessidades da linha, este defeito reduziu drasticamente, sendo constatados apenas erros remanescentes comparativamente ao observado antes.

Com esta melhoria comunicativa, conseguiu-se ainda uma melhor definição das tarefas por posto de trabalho. Devido à criação automática de horários e ao acesso à informação por utilizador, conseguiu-se definir as funções de cada equipa por pessoa, melhorando o desempenho individual, e de grupo.

Outra ineficiência grave verificada na análise foi o baixo aproveitamento da contabilização e controlo da produção. Os meios de aquisição de informação eram arcaicos e morosos, o que resultava em extravio de dados, contabilização imprecisa ou descredibilização do método. Como resposta a este defeito, a contabilização de produção passou a ser feita automaticamente, sendo apenas registados analogicamente os defeitos contabilizados, após avaliação dos especialistas de inspeção. Assim, melhora-se a contabilização da produção e alivia-se a carga de trabalho dos operadores, otimizando o seu tempo para inspeção. Com o PCIS consegue-se ainda facilitar o acesso à informação ao recolher relatórios personalizados automaticamente e com isto aumentar o tempo útil da equipa de Engenharia.

Ao nível de controlo dos tempos de paragem de produção também foram feitas melhorias. Previamente, a contabilização e declaração dos acontecimentos nem sempre era realizada, ou feita de forma imprecisa por colaboradores que não estavam instruídos a fazê-lo. Com a integração de diferentes níveis de admissão por pessoas conseguiu-se retificar este problema, e pelos sinais adquiridos dos equipamentos conseguiu-se estipular um método de contabilização das paragens de produção.

É através desse aproveitamento dos sinais elétricos que se consegue centralizar a informação. Criando uma rede de comunicação entre estes, as possibilidades estão ao alcance da criatividade humana e das necessidades da linha. Com o acrescentar de novos equipamentos, surgem ainda mais possibilidades, dado que o PCIS pode ser desenvolvido no sentido de aglomerar novas funcionalidades.

Devido à melhoria dos resultados operacionais, e da resposta dada pelos colaboradores da linha de produção dos Plásticos, equipa de Engenharia e chefias, surge a possibilidade de expansão do PCIS a outro sistema produtivo da *Visteon*, Palmela. Esta medida expôs o valor reconhecido ao sistema e, como tal, o PCIS serviu de base para a nova digitalização dessa nova linha. Na altura de concepção do PCIS foi utilizado um algoritmo de implementação, que foi aplicado posteriormente na área de *Thixo Molding*.

Recorrendo à mesma lógica de otimização inicial de processos, enquanto se faz uma análise detalhada dos defeitos da linha, conseguiu-se fazer uma adaptação do sistema a um sistema produtivo diferente. Com essa constatação, surge a ideia de criação de uma metodologia de implementação devido ao sucesso observado em ambas as transições analogico-digitais. Devido aos resultados obtidos na segunda implementação (mais fluída e com menor resistência), conclui-se que a metodologia utilizada em ambos os casos pode ser aplicada em diferentes sistemas produtivos. Pretende-se, com isso, que este documento possa servir de base para sistemas futuros que partilhem do mesmo propósito de digitalização, tendo os resultados no caso de estudo sido bastante positivos.

5.2 Desenvolvimentos Futuros

Tanto o PCIS como o TCIS foram desenvolvidos por módulos, o que possibilita a integração de ideias complementares a ambos os sistemas existentes. Devido a problemas orçamentais, nem sempre é possível executar as ideias concebidas. Contudo, com a apresentação de resultados positivos a partir dos sistemas, a companhia pode ver o potencial de investimento neste tipo de projetos.

É graças a essa particularidade que o trabalho para ambos os sistemas não deve ser interrompido com a sua implementação. Seguindo as práticas *Lean* de melhoria contínua, foi realizado trabalho de antemão, para implementação futura, que não se inclui no caso de estudo devido a questões financeiras.

No documento presente, a manutenção de moldes e intervenções por parte da *Tool Room* são abordadas através da ligação ao *VMaintenance*. Tratam-se de intervenções corretivas, porém existe um potencial inexplorado ao nível de prevenção da integridade das ferramentas. Se se inserir um menu de base de dados referente ao número de ciclos que uma ferramenta pode efetuar até nova manutenção, assim como a inclusão da periodicidade temporal obrigatória entre manutenções, pode-se integrar mensagens de alerta ao utilizador. Desta forma salvaguarda-se o estado dos equipamentos (no *Thixo* pode-se incluir ainda as ferramentas de *trimming* e furação, por exemplo) e aumenta-se o tempo de vida dos mesmos.

Para o caso *Thixo Molding* existe um maior aproveitamento elétrico por ter sido feito posteriormente, com um prazo de entrega de projeto mais extenso, e também pelo maior potencial verificado nos PLC's da área, comparativamente aos Plásticos. Contudo, podem-se introduzir novas funcionalidades no sistema ao integrar mais dispositivos paralelos ao processo. Havendo já máquinas de injeção com sistemas de visão, existe a possibilidade de integrar os sinais transmitidos por estes e aglomerar à contagem de produção do PCIS, tal como as imagens resultantes dos defeitos. Substituindo assim dois sistemas, que neste momento são completamente independentes por um.

Existe ainda o caso em que se podem introduzir elementos de outras linhas da *Visteon* de maneira a integrar as linhas de produção de Plásticos e *Thixo* no resto do sistema produtivo global. Entre estes elementos existem equipamentos, como os AGV e MIR, que podem ser integrados com uma aplicação prática bastante útil. Caso se crie uma interface de ligação entre o PCIS/TCIS ao sistema de controlo dos AGV/MIR pode-se visualizar em tempo real a localização destes e fazer um pedido de recolha de material. Assim, conseguir-se-ia prevenir avarias dos robots de transporte, corrigi-las mais rapidamente e melhorar as cadeias de abastecimento de maneira mais eficaz.

É possível também integrar equipamentos que nem foram sequer adquiridos, ou ponderados inicialmente para utilização com o sistema. Equipamentos como os controladores de injeção da *Kistler* através de sensores de pressão e temperatura podem ser utilizados nas linhas de produção para melhoria de FTT.

Estes sensores estão embutidos na zona moldante de cada molde e, durante a injeção comunicam com um sistema de controlo. Este sistema de controlo adquire sinais como os valores de temperatura, pressão, tempos de injeção, ponto de comutação, entre outros. Cabe ao Engenheiro de Processo programar os parâmetros de injeção (e sua tolerância) para cada molde, de maneira a apurar a qualidade da peça. Caso os valores lidos não estejam de acordo com o estipulado, o controlador transmite ao robot o sinal de peça defeituosa. Esta peça, consoante o tipo de falha nos parâmetros pode ser catalogada com um tipo de defeito específico, fazendo a função atualmente desempenhada pelo operador de forma automática. Após serem criados os parâmetros de controlo nos equipamentos, é possível interligar com os sistemas digitais da linha, para que dessa forma todos os sistemas estejam em constante comunicação. Este tipo de equipamento encontra-se em estudo para implementação, não só por reduzir o número de pessoas na linha de produção, como pelos resultados precisos que demonstra. No entanto, devido a questões orçamentais, não se afigura uma implementação a curto prazo.

Finalmente, de maneira a aproximar o sistema produtivo ao conceito de *Smart Factory*, deve-se fazer futuramente a implementação de módulos que revelem interpretação dos dados adquiridos pelos servidores. Neste momento, o sistema atual apresenta resultados a pedido da equipa de Engenharia. Contudo, existem soluções no mercado que possibilitam a criação automática de resultados preditivos da produção a partir dos valores recolhidos em base de dados. Situações como um molde produzir em máquinas diferentes num determinado intervalo de tempo e apresentar valores de FTT bastante díspares. Devem-se criar mecanismos de alerta que notifiquem automaticamente estes desníveis. Outro exemplo é o de comparação de valores de produção do mesmo molde em turnos diferentes, revelando automaticamente a sub-produção num determinado turno, com um determinado operador, ou lote de produção. Tratam-se de exemplos práticos de desperdícios existentes que podem ser evitados, sendo que de momento só o serão em caso de dedução da equipa de Engenharia. Havendo a possibilidade de contribuição automática por parte do sistema de apoio ao discernimento da equipa, esta deve ser implementada e utilizada.

Referências Bibliográficas

- [1] A. Lele and S. Innovation, "Industry 4.0," pp. 205–215, 2018.
- [2] J. P. Womack and D. T. Jones, "Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 48, no. 11, p. 1148, 1997.
- [3] B. Poksinska, D. Swartling, and E. Drotz, "The daily work of Lean leaders - lessons from manufacturing and healthcare," *Total Qual. Manag. Bus. Excell.*, vol. 24, no. 7–8, pp. 886–898, 2013.
- [4] S. Buer, G. I. Fragapane, J. O. Strandhagen, J. Ola, and J. Ola, "The Data-Driven Process Improvement Cycle: Using Digitalization for Continuous Improvement," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 1035–1040.
- [5] K. Zhou, T. Liu, and L. Zhou, "Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges," *2015 12th Int. Conf. Fuzzy Syst. Knowl. Discov. FSKD 2015*, pp. 2147–2152, 2015.
- [6] J. Krapf, "Digitalization is the present, don't neglect thinking about the future," pp. 2015–2018, 2017.
- [7] A. D. L. Jacobsen, "Abordagens para lidar com a resistência humana frente a processos de mudança organizacional," *Rev. Ciências da Adm. RCA*, vol. 4, no. 7, pp. 39–49, 2002.
- [8] C. Fernandes, "Conflitos e resistência à mudança nas organizações," pp. 1–18, 2012.
- [9] J. P. Womack, D. T. Jones, and D. Ross, *The Machine that changed the world*. Macmillan Publishing Company, 1990.
- [10] T. Wagner, C. Herrmann, and S. Thiede, "Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems," *50th Procedia CIRP Conf. Manuf. Syst.*, vol. 63, pp. 125–131, 2017.
- [11] E. Lander and J. K. Liker, "The Toyota Production System and art : making highly customized and creative products the Toyota way," *Int. J. Prod.*, no. August, 2007.
- [12] P. Deane, "The First Industrial Revolution," 1965.
- [13] D. C. Mowery, "Plus ca change: Industrial R&D in the 'third industrial revolution,'" *Ind. Corp. Chang.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–50, 2009.
- [14] S. Tolliday and J. Zeitlin, "Between Fordism and Flexibility. The Automobile Industry and its Workers. Part, Present and Future," *Arch. Sozialgesch.*, vol. 28, no. January 2016, pp. 153–171, 1988.

- [15] S. Clarke, "What in the F--- ' s name is Fordism The Life and Works of Our Ford The Fordist technological revolution," vol. 1, 1990.
- [16] J. P. Pekar, *Guiding Principles for Application Total Quality Management : Guiding Principles*. 1995.
- [17] T. Ohno, *The Bible of TPS*. 1978.
- [18] M. Chung and J. Kim, "The Internet Information and Technology Research Directions based on the Fourth Industrial Revolution," vol. 10, no. 3, pp. 1311–1320, 2016.
- [19] E. Ryan and M. Omar, "A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs)," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 60, pp. 1185–1205, 2016.
- [20] J. S. Oakland, *Total quality management*, no. 3rd Edition. 2003.
- [21] A. Kosieradzka, "Maturity Model for Production Management," *Procedia Eng.*, vol. 182, pp. 342–349, 2017.
- [22] G. K. Kanji, "Total quality management: The second industrial revolution," *Total Qual. Manag.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–12, 1990.
- [23] T. Ohno, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, 1st ed. Product Press, 1978.
- [24] M. Ballé, D. Jones, and M. Orzen, "True lean leadership at all levels," pp. 26–30, 2015.
- [25] P. Ghinato, "Sistema Toyota de Produção : Mais do Que Simplesment Just-in-Time," pp. 169–189, 1995.
- [26] M. A. Lewis, "Lean production and sustainable competitive advantage," vol. 20, no. 8, pp. 959–978, 2000.
- [27] S. Solaimani, A. H. Talab, and B. Van Der Rhee, "An integrative view on Lean innovation management," *J. Bus. Res.*, vol. 105, no. July, pp. 109–120, 2019.
- [28] R. Shah and P. T. Ward, "Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance," *J. Oper. Manag.*, vol. 21, no. 2, pp. 129–149, 2003.
- [29] B. Burnes, "Kurt Lewin and the Planned Approach to Change : A Re-appraisal," no. September, 2004.
- [30] M. Eaton, *The Lean Practitioner's Handbook*, 1st ed. 2013.

- [31] J. K. Liker, *The Toyota Way 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, 1st ed., no. 1. McGraw-Hill, 2004.
- [32] L. Stehn, "Lean principles in industrialized housing production : the need for a cultural change Lean culture," pp. 20–33, 2008.
- [33] S. Shingo and A. P. Dillon, *A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint*, 1st ed. Cambridge: Productivity Press, 1989.
- [34] A. Chiarini, *Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office*, 1st ed. Springer, 2013.
- [35] T. Melton, "The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 83, no. 6 A, pp. 662–673, 2005.
- [36] G. D. Galsworth, *Visual Workplace - Visual Thinking*. CRC Press, 2006.
- [37] M. Bevilacqua, F. E. Ciarapica, G. Mazzuto, and C. Paciarotti, *Visual Management implementation and evaluation through mental workload*, vol. 46, no. 7. IFAC, 2013.
- [38] A. Mayr *et al.*, "Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0," *51st CIRP Conf. Manuf. Syst.*, vol. 72, no. May, pp. 622–628, 2018.
- [39] G. C. Parry and C. E. Turner, "Production Planning & Control : The Management of Application of lean visual process management tools," no. December 2014, pp. 37–41, 2006.
- [40] H. Tokola, C. Gröger, E. Järvenpää, and E. Niemi, "Designing manufacturing dashboards on the basis of a Key Performance Indicator survey," *Procedia CIRP*, vol. 57, pp. 619–624, 2016.
- [41] A. Landström *et al.*, "Designing visual management in manufacturing from a user user perspective," *Procedia CIRP*, vol. 84, pp. 886–891, 2019.
- [42] S. Vaidya, P. Ambad, and S. Bhosle, "Industry 4.0 – A Glimpse," *Procedia Manuf.*, vol. 20, pp. 233–238, 2018.
- [43] S. Erol, A. Jäger, P. Hold, K. Ott, and W. Sihn, "Tangible Industry 4 . 0 : a scenario-based approach to learning for the future of production," *Procedia CIRP*, vol. 54, pp. 13–18, 2016.
- [44] T. Samad and A. Annaswamy, *The Impact of Control Technology*. CSS, 2011.
- [45] N. Jazdi, "Cyber Physical Systems in the Context of," pp. 2–4, 2014.

- [46] A. Sanders, C. Elangeswaran, and J. Wulfsberg, "Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing," *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 9, no. 3, pp. 811–833, 2016.
- [47] C. Prinz, N. Kreggenfeld, and B. Kuhlenkötter, "Lean meets Industrie 4.0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world," *Procedia Manuf.*, vol. 23, no. 2017, pp. 21–26, 2018.
- [48] D. Zukunft and A. Industrie, "Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt," no. April, 2013.
- [49] A. Albers, T. Stürmlinger, C. Mandel, J. Wang, M. B. de Frutos, and M. Behrendt, "Identification of potentials in the context of design for industry 4.0 and modelling of interdependencies between product and production processes," *Procedia CIRP*, vol. 84, pp. 100–105, 2019.
- [50] K. Lewin and B. Burnes, "Kurt Lewin and the Planned Approach to Change: A Re-appraisal," *J. Innov. Knowl.*, vol. 84, no. 1, pp. 1–20, 2013.
- [51] J. A. Baker, *Paradigms: The Business of Discovering the Future*. Harper Business, 1993.
- [52] J. P. Kotter and L. A. Schlesinger, "Choosing Strategies for Change," *GIS Eur.*, no. Harv. Bus. Rev., 2013.
- [53] J. D. Ford and L. W. Ford, "Decoding Resistance to Change Decoding Resistance to Change The Idea in Brief The Idea in Practice," *Harv. Bus. Rev.*, vol. April, 2009.
- [54] M. Imai, *Gemba Kaizen: A commonsense approach to a continuous improvement strategy*, 2nd ed. McGraw-Hill, 1997.
- [55] CT58, "Norma Portuguesa - ISO 1133-1:2011," 2013.

Anexo B – Exemplo de exportação de relatório parcial *html*

Relatório Produção de 2019-11-09 a 2019-12-09

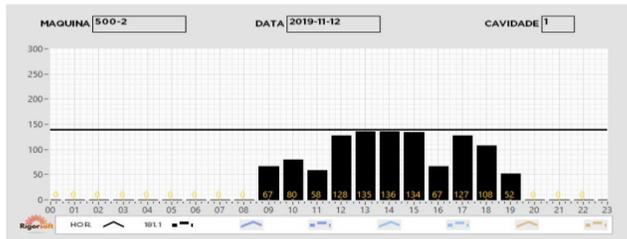
GRUPO	PRODUÇÃO	PRODUCAO OK	FTT (%)
	8260	7684	93.03

DATA INI.	DATA FIM	MOLDE	MAQUINA	PRODUÇÃO	PRODUCAO OK	FTT (%)
2019-11-09	2019-12-09	181.1	500-2	8260	7684	93,03

Resultados Produção

DIA	TURNO	PRODUÇÃO TOTAL	QTD. DEFEITOS	PRODUCAO OK	FTT (%)	HORA INI.	HORA FIM	NUM. ARRAN. DEF.
2019-11-12	0	1290	84	1206	93.49			0
2019-11-12	1	896	42	854	95.31	09:05:33	16:30:00	0
2019-11-12	2	394	42	352	89.34	16:30:00	19:16:56	0

NOTA: Defeitos 'Pós Paragem' não são contabilizados na tabela produção.



Lista Defeitos

DIA	TURNO	TIPO	QTD	CAVIDADE
2019-11-12	1	Raiados	29	1
2019-11-12	1	Injeccao	13	1
2019-11-12	1	Pós Paragem	49	1
2019-11-12	2	Raiados	41	1
2019-11-12	2	Contamina	1	1

Lista Paragens

DIA	TURNO	T. TOTAL PARAGEM (HH:MM:SS)	HORA INI.	HORA FIM	OPERADOR	TECNICO	TIPO ERRO	PARAGEM	REPORTE
2019-11-12	1	0:19:55	09:27:44	09:28:30	Anabela Ropo	Vitali Colomaco	Equipamento	Limpaza do Molde	ex: 2.2
2019-11-12	1	1:01:22	11:05:38	11:07:20	Anabela Ropo	Fofo Almeida	Equipamento	Limpaza do Molde	

Lista Tarefas

DIA	TURNO	T. TOTAL TASK (S)	HORA INI.	HORA FIM	UTILIZADOR	TAREFA	PRONTA PRODUÇÃO	ARRANQUO DENTRO PREVISTO	COMPARA COM ULTIMA PEÇA ETIQUETADA E SCRAP	1ª PEÇA APROVADA GUARDADA E ETIQUETA AZUL	DATADOR ATUALIZADO	1ª PEÇA APROVADA GUARDADA E ETIQUETA VERDE	PEÇAS CONSECUTIVAS	TURNO CONCLUIDO	PRODUÇÃO OK	CONTADOR	CONTADOR - MAX MOLDE	OBS	REPORTE
2019-11-12	1	259	09:01:29	09:05:48	Vitali Colomaco	CheckList de Arranque Produção - Técnico	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0		
2019-11-12	1	17	09:05:16	09:05:33	Anabela Ropo	Checklist de arranque da produção - Operador	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	20	0	0		
2019-11-12	1	191	09:50:10	09:53:21	Teresa Mestre	Inspeção Supervisor	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	5	0	0	1	
2019-11-12	1	20	16:28:01	16:28:21	Jacinta Gomes	Checklist de fecho de Turno - Operador	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0		Tarefa Fim Turno criada automaticamente.
2019-11-12	2	135	16:30:01	16:32:17	Paulo Barreto	Checklist de abertura de Turno - Operador	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0		Tarefa Inicio Turno criada automaticamente.
2019-11-12	2	1	19:16:56	19:16:56	Teresa Mestre	Checklist de fecho	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0		

Figura 27: Relatório diário e por turno do molde 181.1