



**Universidade de Aveiro** Departamento de Economia, Gestão, Engenharia  
2018 Industrial e Turismo

**MARIANA FILIPA PROJETO DE OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE UMA  
REGALA DA FONSECA EMPRESA DE MOLDES**





**MARIANA FILIPA PROJETO DE OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE UMA  
REGALA DA FONSECA EMPRESA DE MOLDES**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Doutor Leonel Nunes, Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro e do Doutor João Matias, Professor Catedrático do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro



## **o júri**

presidente

**Prof<sup>a</sup>. Doutora Carina Maria Oliveira Pimentel**  
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

**Doutor Radu Godina**  
Pós-Doutorado na Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior

**Prof. Doutor Leonel Jorge Ribeiro Nunes**  
professor auxiliar convidado da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Aos meus orientadores, Prof. Doutor Leonel Nunes e Prof. Doutor João Matias fica a minha gratidão pelo incentivo, compreensão e orientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Sr. Paulo e Sr. Ribeiro, pelo voto de confiança e cooperação para a realização deste projeto.

À minha família pelo apoio em todos os momentos.





**palavras-chave**

*Engineer-to-Order*, Investigação-Ação, Teoria dos Constrangimentos, Mapeamento da Cadeia de Valor

**resumo**

O presente trabalho, desenvolvido numa empresa de moldes, propõe identificar os fatores que contribuem para o atraso de entrega de encomendas. A metodologia de investigação utilizada foi a qualitativa e o método, o estudo de caso.

Neste estudo demonstra-se que é possível desmistificar que em empresas *Engineer-to-Order*, os conceitos de melhoria contínua não são aplicáveis e que com abordagens simples, pode-se propor ferramentas que otimizem o fluxo do processo. A filosofia utilizada foi a Teoria dos Constrangimentos, e dentro das ferramentas o *Value Stream Mapping*.

Foi possível identificar constrangimentos, recorrendo à análise dos tempos e causas de paragem dos equipamentos e da observação-ação nos processos de produção.

Por último, são apresentadas propostas de melhoria, a implementar gradualmente na empresa e focadas na eliminação dos constrangimentos identificados.



**keywords**

*Engineer-to-Order*, Action Research, Theory of the constraints, Value Stream Mapping

**abstract**

The present work, developed in a mold company, pretends to identify some of the factors that contribute to the orders delivery delay. The research methodology used was the qualitative and the method, the case study.

This study proposes to demystify that in Engineer-to-Order companies, the concepts of continuous improvement are not applicable and that with simple approaches, tools that optimize the process flow, can be proposed. The philosophy used was the Theory of Constraints, and within the tools, the Value Stream Mapping.

It was possible to identify constraints, through the analysis of the time and causes of equipment downtime and with observation/action in the production processes.

At last, suggestions for improvement, to implement gradually in the company, and focused on eliminating the identified constraints are given.



## Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização do problema .....	1
1.2. Definição do problema e objetivos .....	4
1.3. Metodologia e método .....	5
1.3.1. Breve introdução da metodologia: a Investigação-Ação .....	6
1.4. Estrutura do relatório.....	10
2. Apresentação do setor, empresa e processo de produção .....	11
2.1. Setor da Indústria dos moldes .....	11
2.2. Apresentação da Empresa.....	14
2.3. Molde e processo de produção.....	16
3. Enquadramento teórico .....	19
3.1. Value Stream Mapping (Mapeamento da Cadeia de Valor) .....	19
3.2. Teoria dos Constrangimentos (Theory of Constraints - TOC) .....	21
4. Caso de Estudo .....	25
4.1. Descrição do Processo de produção da empresa .....	26
4.2. Desenvolvimento do Value Stream Mapping Atual (As Is) .....	29
4.3. Análise quantitativa dos tempos de paragem de equipamentos .....	30
4.3.1. Determinação da capacidade disponível e taxa de utilização .....	30
4.3.2. Identificação das principais causas de paragem .....	34
4.4. Identificação/Análise dos constrangimentos.....	35
4.4.1. Realidade Atual .....	35
4.4.2. Estado desejado, planeamento da mudança e implementação.....	38
5. Conclusões.....	45
5.1. Considerações finais.....	45
5.2. Questões-problema.....	45
5.3. Limitações e trabalhos futuros.....	47
Bibliografia .....	49

## Índice de Figuras

Figura 1- O Conceito de Customer Order Decoupling Point .....	1
Figura 2 – Interpretação das metodologias/ferramentas utilizadas neste caso de estudo.....	6
Figura 3 - Espiral do processo da Investigação-Ação .....	8
Figura 4 - Balança comercial do Sector dos moldes em Portugal .....	12
Figura 5 – Evolução do mercado de trabalho na indústria de moldes .....	13
Figura 6- Organograma da empresa .....	15
Figura 7- Exemplos de peças injetadas de moldes produzidos na empresa.....	15
Figura 8- Macho de um molde para injeção plástica .....	16
Figura 9- Composição do molde .....	16
Figura 10 - Processos críticos na indústria de moldes .....	18
Figura 11 - Fases de implementação do VSM e respetivos objetivos .....	20
Figura 12- Fases do projeto.....	25
Figura 13 - Fluxograma do processo produtivo da empresa.....	28

## Índice de Tabelas

Tabela 1- Produção repetitiva vs Produção ETO .....	3
Tabela 2- Ferramentas de mapeamento de fluxo .....	21
Tabela 3- Etapas criadoras de valor e etapas não criadoras de valor (necessárias e desnecessárias) do processo de produção de um molde .....	29
Tabela 4- Determinação da Capacidade disponível, Taxa de paragem e Taxa de utilização dos equipamentos .....	31
Tabela 5- Cálculo da percentagem de ocupação dos equipamentos do layout industrial .....	32
Tabela 6- Aplicação da metodologia Active-Research, para elevação dos constrangimentos do processo .....	43

## Índice de Gráficos

Gráfico 1- Taxa de paragem por secção.....	32
Gráfico 2 - Principais causas de paragem de equipamentos (Dados do 2º Trimestre de 2017).....	34

## **Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos**

*ATO – Assembly- to-stock*

*CODP – Customer Order Decoupling Point*

*ETO – Engineer- to-order*

*MTO – Make- to-order*

*MTS – Make- to- stock*

*PMEs – Pequenas e Médias Empresas*

*TOC – Theory of the Constraints*

*VSM – Value Stream Mapping*





# 1. Introdução

Neste capítulo inicial será feita a contextualização do problema e a definição dos objetivos deste projeto, realizado numa empresa de moldes. Segue-se uma breve introdução à metodologia utilizada e, por fim, apresenta-se a estrutura do relatório.

## 1.1. Contextualização do problema

O projeto que irá ser apresentado, realizou-se numa empresa produtora de moldes para injeção plástica e para fundição injetada (Alumínio, Zamak e Magnésio). A indústria de moldes situa-se no ambiente de negócios, designado por *Engineer-to-order (ETO)*.

Segundo Powell et al. (2014), de forma a definir distintivamente a interpretação de *ETO* deve-se primeiramente considerar o conceito de *Customer Order Decoupling Point (CODP)*. O *CODP* é um conceito usado para distinguir entre diferentes estratégias industriais de interação com o mercado.

Os diferentes posicionamentos de produção tais como, *make-to-stock (MTS)*, *assemble-to-order (ATO)*, *make-to-order (MTO)*, and *engineer-to-order (ETO)* relacionam-se com diferentes posições do *CODP* (Olhager, 2010).

Para melhor se entender o conceito apresenta-se, na figura seguinte, o posicionamento do *CODP* relativamente a cada uma das quatro estratégias gerais.

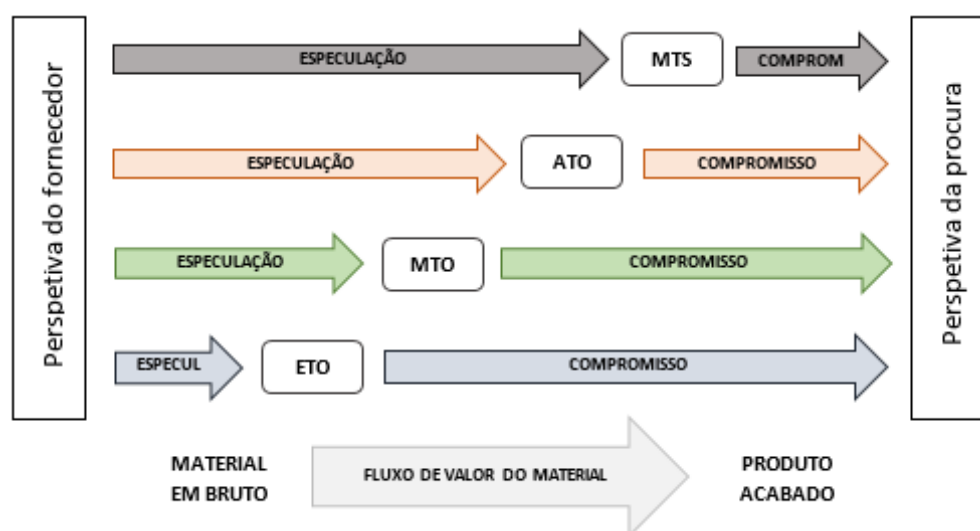


Figura 1- O Conceito de Customer Order Decoupling Point (Adaptado de Powell et al., 2014)

A Figura 1 ilustra a definição dada por Powell et al. (2014), que estabelece o *CODP*, como o ponto que separa a parte do fluxo de material e informação que é baseada em pedidos firmes dos clientes, das partes baseadas em previsões e especulação. Esta definição é atestada por outros autores: Olhager (2010) e Willner et al. (2014), referem que o *CODP* é ponto no fluxo de material onde o produto está ligado a um pedido específico do cliente.

Para Gosling e Naim (2009), no contexto das empresas *ETO*, o fluxo de produção é inteiramente conduzido pelos pedidos efetivos dos clientes com o *decoupling point* localizado na fase de design. De forma semelhante, Powell et al. (2014) afirmam que o conceito de *ETO* refere-se à estratégia pela qual design, engenharia e produção não começam até que uma ordem do cliente seja confirmada.

Esta questão de desenvolvimento e produção do produto apenas quando o pedido é realizado pelo cliente, levanta dificuldades, especialmente no que diz respeito ao cumprimento do prazo de entrega, às empresas que utilizam esta estratégia.

Hoje em dia, muitas empresas *ETO* estão sob pressão para reduzir os seus custos enquanto minimizam o tempo de produção. Nos recentes anos têm trabalhado para industrializar os seus processos de fabrico e introduzir a pré-fabricação pela standardização e modularização (Matt, Dallasega, & Rauch, 2014). Mas, segundo os autores, pouco foi feito no que diz respeito ao desenvolvimento de ferramentas focadas no desenvolvimento do processo. Para Matt et al. (2014) a pesquisa sobre indústrias *ETO*, baseou-se essencialmente no desenvolvimento do produto, enquanto que a melhoria das organizações e dos seus processos tem sido praticamente ignorada.

Sendo que o setor industrial europeu está a desenvolver-se, rumo a um aumento de customização dos produtos, as empresas que competem neste mercado têm, conseqüentemente, que adaptar os seus processos produtivos (Manzini & Urgo, 2015).

No entanto, ambientes *ETO*, altamente personalizados têm recebido muito menos atenção de investigadores, do que os ambientes industriais de *Make-to-Stock*, de volumes de produção elevados e standardizados. Na indústria *ETO*, todo o produto é o resultado final de um projeto e os métodos utilizados para o planeamento e controlo de produção em massa não são aqui adequados (Yang, 2013). O elevado grau de complexidade e incerteza inerente ao planeamento numa empresa *ETO*, é referido por vários autores. Para Bertrand e Muntslag (1993), referido por Yang (2013), a cadeia *ETO* envolve etapas físicas (produção de componentes, montagem e instalação) e etapas não físicas (orçamentação, engenharia, design e planeamento). Muitas

organizações *ETO* são sistemas de produção multi-projeto movidas pela capacidade, o que significa que as operações são limitadas por vários recursos raros. O planeamento da capacidade é um aspeto importante neste contexto e refere-se ao problema de alinhar a procura à disponibilidade de recursos no médio prazo (Carvalho, Oliveira, & Scavarda, 2014).

Manzini & Urgo (2015) salientam o nível elevado de incerteza, ao nível do planeamento, devido à imprevisibilidade das atividades de produção que uma empresa tem que executar no médio e longo prazo. Referem ainda, que um fator adicional de incerteza ocorre quando as atividades de produção são executadas por operadores humanos, o que conseqüentemente, aumenta a complexidade do planeamento de produção.

Também, Carvalho *et al.* (2014), destacam a imprevisibilidade associada ao planeamento de produção. Para estes autores, a incerteza tem um impacto significativo na estabilidade e performance de sistemas de produção *ETO*, na forma como afeta o êxito no cumprimento do prazo de entrega, alocação eficiente de recursos e a utilização de uma força de trabalho irregular (Yang, 2013).

De forma, a melhor se entender o porquê da complexidade e instabilidade do processo de produção de empresas *ETO*, apresentam-se na Tabela 1, alguns fatores de diferenciação entre uma empresa *ETO* e uma empresa de produção repetitiva (*MTS*).

Tabela 1- Produção repetitiva vs Produção *ETO* (Adaptado de Doherty, 2004)

<i>Característica</i>	<i>Produção Repetitiva</i>	<i>Produção ETO</i>
<i>Nível de produção elevado</i>	Sim	Não
<i>Design de produto estático</i>	Sim	Não
<i>Rota de processo estática</i>	Sim	Não
<i>Baixo custo unitário de trabalho</i>	Sim	Não
<i>Baixo valor unitário de venda</i>	Sim	Não
<i>Competências elevadas requeridas</i>	Não	Sim
<i>Cadeia de fornecimento linear</i>	Sim	Não
<i>Previsões</i>	Sim	Não

## 1.2. Definição do problema e objetivos

As dificuldades referidas pelos autores, foram também sentidas na empresa onde este projeto se realizou. Durante o último ano, a empresa enfrentou sérias dificuldades em cumprir prazos de entregas e os valores de tempo de utilização dos equipamentos abaixo do pretendido. A forma imediata de resolver esta situação incidiu na redução de entrada de encomendas, com o objetivo de criar o espaço e o tempo necessário para organizar o seu processo de planeamento.

Durante o processo de integração na empresa fez-se o acompanhamento das várias etapas do processo. Este acompanhamento transversal permitiu conhecer os pontos fortes da empresa, mas também verificar que existem etapas do processo onde, muitas vezes, decorrem atrasos, e não são cumpridos os prazos estabelecidos. Verificou-se também, conforme indicado pelo responsável da empresa, que os equipamentos apresentavam tempos de paragem elevados.

Estes atrasos entre etapas e a baixa otimização dos recursos disponíveis na empresa, têm como resultado final, o não cumprimento dos prazos de entrega aos clientes.

Durante este período de integração, através da participação nos diversos processos da organização e baseada na pesquisa sobre o tipo de indústria, surgiram três questões:

1. Que fatores são responsáveis pelos atrasos na entrega aos clientes?
2. Como podem estes fatores ser controlados, de forma a melhorar o processo produtivo?
3. Como diminuir o tempo de paragem dos equipamentos de produção?

O projeto teve como objetivo a resposta às questões-problema, através da identificação de desperdícios e constrangimentos do processo de produção e de uma análise dos fatores na origem desses desperdícios. O intuito foi a apresentação de sugestões de melhoria, que se possam tornar uma mais-valia para a empresa ao nível da otimização do seu sistema de produção.

Para dar resposta a este objetivo, este trabalho foi desenvolvido com base na Teoria dos Constrangimentos, proposta por Eliyahu Goldratt (1984) que tem como foco a identificação e otimização dos recursos gargalo da empresa.

### 1.3. Metodologia e método

A procura das respostas às questões-problema, iniciou-se com a definição das metodologias, que contribuíssem para a identificação dos constrangimentos. O método foi o Caso de Estudo e foram utilizadas duas metodologias de investigação:

- uma quantitativa, através da análise dos tempos de paragem de equipamentos, e principais causas associadas;
- A outra qualitativa, a Investigação-Ação.

Estas metodologias servem de apoio à filosofia condutora deste projeto, a Teoria dos Constrangimentos proposta por Eliyahu M. Goldratt (1990).

Após a definição das metodologias, iniciou-se a etapa de aprofundar o conhecimento sobre o processo. Para isso, recorreu-se a duas ferramentas, o fluxograma e o *Value Stream Mapping*.

O fluxograma serviu de apoio à consolidação do conhecimento através da representação sequencial das etapas gerais do processo e o *VSM*, apoiou no objetivo de identificar não só, os procedimentos criadores de valor e os necessários não criadores de valor, como também os procedimentos que tornam o processo menos eficiente, os desperdícios.

Com a análise quantitativa, pretendeu-se identificar simultaneamente os equipamentos com maior tempo de paragem, as causas associadas, e os equipamentos com maior taxa de ocupação, logo possíveis recursos gargalo. Esta análise foi possível através do registo dos tempos de paragem e causas associadas pelos operadores dos equipamentos.

Após a identificação das restrições, fez-se uma análise individual de forma a determinar como cada um deles contribui como tampão da produção e propor estratégias/ferramentas de “elevação” das restrições, que contribuam positivamente para a eficiência do processo produtivo.

Na Figura 2, apresentam-se, de forma resumida, as metodologias e ferramentas utilizadas e a forma como foram integradas no Caso de Estudo.

FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO	Aprendizagem do processo geral.
VALUE STREAM MAPPING	Identificação de procedimentos e recursos criadores de valor e não criadores de valor.
ANÁLISE DOS TEMPOS DE PARAGEM DOS EQUIPAMENTOS	Identificação de equipamentos com menor taxa de ocupação e associação das paragens a acontecimentos específicos. Identificação de recursos gargalo
TEORIA DOS CONSTRANGIMENTOS	Constrangimento como oportunidade de melhoria; Otimizar ao máximo a eficiência e eficácia do gargalo.

Figura 2 – Interpretação das metodologias/ferramentas utilizadas neste caso de estudo

### 1.3.1. Breve introdução da metodologia: a Investigação-Ação

A origem da Investigação-Ação remonta ao fim dos anos 40 e resulta do trabalho de investigadores Europeus e Americanos. Nos dias de hoje, esta metodologia de pesquisa é usada largamente nas ciências sociais, particularmente em áreas como desenvolvimento organizacional, educação, saúde e serviços sociais (French, 2009).

Reason (2001) enfatiza 5 importantes características que distinguem a Investigação-Ação, de outras formas de pesquisa mais tradicionais:

- A primeira é que enquanto que a pesquisa académica pretende contribuir para um “corpo de conhecimento” abstrato disponível para terceiros, a Investigação-Ação tem como objetivo principal desenvolver conhecimento prático incorporando ações partilhadas entre o investigador/ praticante e o desenvolvimento de organizações.
- A segunda é que tem uma intenção colaborativa: a principal estratégia da Investigação-Ação é aumentar o envolvimento dos agentes na criação e aplicação do conhecimento baseado nas suas experiências.
- Enquanto que muitas formas de pesquisa académica separam quem conhece do que deve ser conhecido, conduzindo a sua pesquisa à distância, a Investigação-Ação está enraizada em cada participante, através da experiência profunda, crítica e prática da situação, com o objetivo de a compreender e de colocar em prática uma solução;

- Isto leva-nos à quarta característica, que sugere que para esta metodologia, a verdade não é apenas pertencente a proposições formais, mas uma atividade humana que deve ser gerida com propósitos humanos. A Investigação-Ação deve ter em conta diversas formas de conhecimento. Conhecimento que é baseado na intuição e nos sentidos, conhecimento expresso de forma estética ou de forma formal e conhecimento prático expresso em habilidades e competência.
- Por fim, a Investigação-Ação tem por objetivo desenvolver teoria que não seja meramente abstrata e descritiva, mas uma guia para investigar e agir no tempo presente. Deste modo, pode-se sublinhar a principal clivagem entre o objetivo principal da pesquisa mais tradicional e da Investigação-Ação: a primeira pretende universalizar e validar certezas sobre questões pré-concebidas e a segunda pretende tomar ações validadas, transformativas e voluntárias em qualquer momento (Reason, 2001).

Koshi (2005) considera a Investigação-Ação como uma investigação construtiva, ao longo da qual o pesquisador constrói o próprio conhecimento sobre assuntos específicos através do planeamento, ação, avaliação, refinamento e aprendizagem sobre a experiência. É um processo de aprendizagem contínua no qual o investigador aprende e partilha o conhecimento gerado com quem possa beneficiar com ele. Para Salehi & Yaghtin (2015) esta metodologia é utilizada como um meio de implementar a mudança num ambiente que está em rápida mutação.

Cohen e Manion (1994), referidos por Koshy (2015) descrevem a Investigação-Ação como um procedimento *in loco* designado para lidar com um problema concreto de uma situação imediata. Isto significa que idealmente o processo passo-a-passo seja monitorizado em vários períodos de tempo e por uma variedade de mecanismos (questionários, diários, entrevistas e estudos de caso, por ex.) de forma a que o *feedback* subsequente possa ser traduzido em modificações, ajustamentos, alterações direcionais, redefinições, se necessário, de modo a trazer benefícios duradouros ao processo em curso, mais do que para alguma ocasião futura.

O seu objetivo principal é, então, facilitar os praticantes a estudar aspetos da prática – quer seja num contexto de introduzir uma ideia inovadora ou para avaliar e refletir na eficácia de uma prática existente, com vista a melhorá-la (Koshy, 2005; Whitehead & McNiff, 2006). Consiste, portanto, em simultaneamente agir e criar conhecimento sobre a ação.

A Investigação-Ação é o motor da eficácia organizacional e propõe as seguintes fases iterativas: Estado Desejado (Objetivo Organizacional), Realidade Atual (Desempenho Organizacional),

Planeamento da mudança (A diferença entre estado desejado e realidade atual), Implementação (com sistema de *feedback* contínuo) (Salehi & Yaghtin, 2015).

Kemmis e McTagart (1986) apresentam um modelo em espiral. Os autores afirmam que a Investigação-Ação envolve uma espiral que compreende os seguintes passos:

- planeamento da mudança;
- reflexão sobre os processos e consequências;
- novo planeamento;
- agir e observar;
- reflexão, e assim sucessivamente.

Conforme modelo proposto pelos autores, ilustram-se na Figura 3, os passos do modelo em espiral.

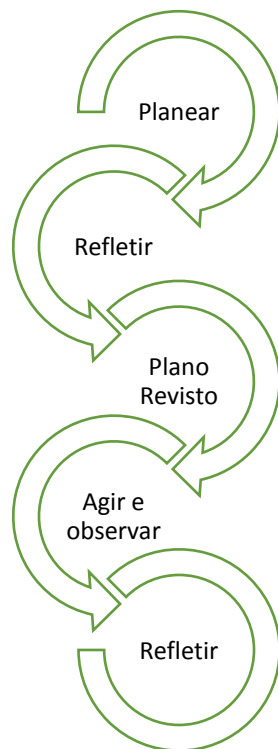


Figura 3 - Espiral do processo da Investigação-Ação (adaptado de Koshy, 2005)



A Investigação-Ação é apresentada seguidamente, de forma sumária, conforme proposto por Koshy (2005).

- Envolve a investigação da sua própria prática;
- É participativa;
- É emergente;
- É baseada em situações;
- Constrói teoria através da prática;
- Pode ser utilizada para solucionar problemas reais;
- Lida com indivíduos ou grupos com um objetivo comum de melhorar procedimentos;
- Está relacionada com melhoria;
- Envolve análise, reflexão e avaliação;
- Facilita a mudança através da investigação.

#### 1.4. Estrutura do relatório

O presente projeto encontra-se dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo faz-se a contextualização do projeto: enquadra-se o posicionamento estratégico da empresa, definem-se as questões-problema, os objetivos e a metodologia.

O segundo capítulo apresenta o setor da indústria de moldes, a empresa e o processo geral de produção.

No terceiro capítulo encontra-se o enquadramento teórico, onde são abordados os temas subjacentes ao desenvolvimento deste trabalho.

No quarto capítulo apresenta-se o caso de estudo. Numa primeira fase é dado a conhecer o processo de produção da empresa, com recurso ao fluxograma. De seguida, é feita a análise dos tempos de paragem de equipamentos. Por fim, são apresentados os constrangimentos identificados e propostas para a sua eliminação ou otimização.

O último capítulo destina-se às conclusões do projeto, são dadas as respostas às questões-problema, feitos os comentários dos pontos com especial impacto e sugestões de estudos futuros.

## 2. Apresentação do setor, empresa e processo de produção

Neste capítulo faz-se a apresentação do setor da indústria de moldes em Portugal e da empresa onde o projeto foi realizado. É apresentado o conceito de molde e seus componentes principais, assim como o processo geral de produção de um molde.

### 2.1. Setor da Indústria dos moldes

A União Europeia é a maior produtora e consumidora de ferramentas industriais, matrizes e moldes do mundo, com um número de produtores em cada país membro relativamente pequeno. A indústria na Europa representa um volume de negócios anual de 13 bilhões de dólares e compreende mais de 7000 empresas, 95% das quais pequenas e médias empresas (*PMEs*), representando uma força de trabalho de alto valor agregado (mais de 100,000 trabalhadores diretamente no setor) com um conhecimento notável no processo de fabricação e design (Platform, 2017).

O sector dos moldes tem em Portugal uma tradição de várias décadas, tendo-se sempre caracterizado por uma aposta na inovação, na qualidade, na adaptação ao mercado e no cumprimento dos prazos das encomendas. Afirma-se hoje como uma indústria de futuro, posicionando o nosso País entre os líderes mundiais do sector. Trata-se de uma indústria com forte concorrência, nomeadamente do sudoeste asiático, que tem sabido sempre posicionar-se de forma a oferecer aos seus clientes produtos inovadores, de qualidade e a um preço competitivo (CCIP, 2015).

A produção de moldes em Portugal nasce nos anos 40 e inicia a internacionalização na década de 50 com a exportação para o Reino Unido. Numa altura em que o sector industrial era o primeiro responsável pelo crescimento económico no País, a indústria de moldes começou por se voltar muito para o mercado interno, estando inicialmente muito ligada ao sector do vidro, começando depois a fabricar moldes para a indústria do plástico que então se começava a desenvolver em Portugal (CCIP, 2015).

No início dos anos 70 a indústria vira-se decididamente para a exportação e nos anos 80 exporta já para mais de 50 países, iniciando desde então um processo contínuo de crescimento e de desenvolvimento (CCIP, 2015).

De acordo com os dados apresentados pela CEFAMOL (2018), o ano de 2017 foi um ano de referência para a Indústria Portuguesa de Moldes. As exportações do sector voltaram a atingir um valor recorde, ascendendo a mais de 675 milhões de euros, tornando-se o melhor ano de sempre, em termos de produção e exportação, pela sexta vez consecutiva.

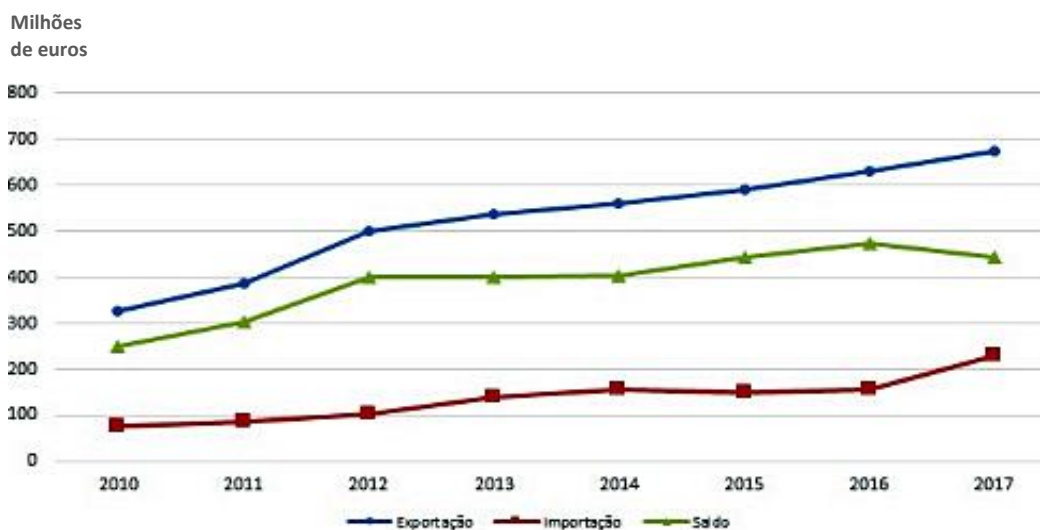


Figura 4 - Balança comercial do Sector dos moldes em Portugal (CEFAMOL, 2018)

Em relação ao ano de 2016, no qual o valor das exportações ultrapassou, pela primeira vez, a fasquia dos 600 milhões de euros (atingindo os 626 milhões), o ano de 2017 representou um aumento de cerca de 8%, sendo o valor total de produção estimado em cerca de 794 milhões de euros.

Quando comparados com o início da década, mais concretamente o ano de 2010, os valores das exportações representam mais do dobro verificado nessa altura, o que é representativo de que Portugal, ao longo dos anos, tem demonstrado uma elevada capacidade de adaptação às necessidades dos seus clientes e à evolução, quer dos mercados, quer das tecnologias (CEFAMOL, 2018).

Um outro indicador a destacar, este ainda com referência a 2016 foi a criação de emprego líquido no sector. Desde o início da década, ou seja, em seis anos, a indústria de moldes recrutou para as suas empresas cerca de três mil novos quadros.

Atualmente, a indústria de moldes emprega aproximadamente 10 460 trabalhadores, tem 515 empresas, maioritariamente de pequena e média dimensão (PME), dedicadas à conceção, desenvolvimento e fabrico de moldes, com uma distribuição geográfica centrada nas regiões da Marinha Grande e Oliveira de Azeméis (CEFAMOL, 2018).

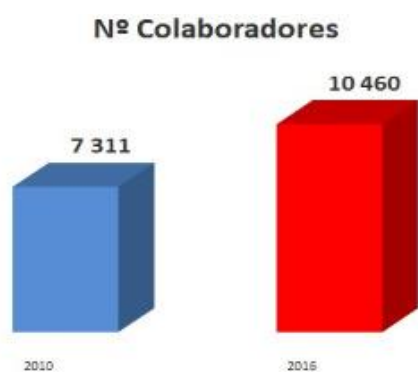


Figura 5 – Evolução do mercado de trabalho na indústria de moldes (CEFAMOL, 2018)

Devido ao seu carácter de inovação e de alta intensidade tecnológica, Portugal encontra-se entre os principais fabricantes de moldes a nível mundial: é o oitavo produtor do mundo e o terceiro a nível da Europa, no que a moldes para a injeção de plástico diz respeito, exportando mais de 80% da produção total (CEFAMOL, 2018).

Em 2017, os principais mercados dos moldes portugueses foram Espanha (22%), Alemanha (21%), França (12%), República Checa (6%) e Polónia (5%). Este grupo foi seguido pelos Estados Unidos, México e Reino Unido. O “top ten” dos 'mercados destino' fica completo com a Eslováquia e Hungria. Tais resultados, demonstram a eficácia da estratégia de promoção da indústria, coordenada pela CEFAMOL, e que tem incidido as suas atividades, para além dos mercados tradicionais e que ocupam as primeiras posições do pódio, nas regiões da Europa Central e de Leste, bem como na América do Norte.

Mas estes não foram os únicos destinos: os produtores nacionais de moldes exportaram a sua produção para 93 mercados (países) distintos, o que demonstra a dimensão internacional e global desta indústria. Em termos de importância das regiões económicas, mantém-se a preponderância do mercado europeu, principalmente comunitário, representando nos 10 últimos anos, em média, 80% do total de exportações. Em 2017, tal atingiu um valor de 82% (CEFAMOL, 2018).

No que diz respeito à tipologia de clientes, a indústria automóvel tem vindo a consolidar o seu crescimento e importância no desenvolvimento do sector, assumindo uma representatividade de 82% em 2016. Nas posições seguintes, destaca-se a embalagem, que tem crescido de uma forma sustentada, representando, neste momento, 8% da produção nacional de moldes. No entanto, o sector está presente em outras áreas industriais de grande importância para o desenvolvimento de novos produtos na economia mundial, assim como vem mantendo a procura por novas áreas e nichos, tais como a eletrónica, a indústria aeronáutica ou os dispositivos médicos (CEFAMOL, 2018).

Os desafios que tem pela frente – a concorrência do sudoeste asiático e a libertação de uma excessiva dependência da Europa e do sector automóvel para as suas exportações, podem ser contornados também através do aproveitamento de toda a cadeia de valor, deixando de se vender apenas o molde e passando-se a apostar igualmente no design e no fabrico dos componentes (CCIP, 2015).

## 2.2. Apresentação da Empresa

Fundada em 1997, a empresa onde decorreu o projeto, é uma empresa especializada no fabrico de moldes para fundição injetada (Alumínio, Zamak e Magnésio) e injeção de plástico.

A empresa conta com uma área fabril superior a 2000 m<sup>2</sup> e encontra-se ligada a vários sectores de atividade tais como, tubagens hidráulicas, embalagens, eletrónica, eletrodomésticos, termotecnologia e especialmente ao ramo automóvel. Além da produção industrial, a empresa realiza a conceção e desenvolvimento dos moldes.

A orientação estratégica assenta nos seguintes princípios: Satisfação do Cliente, Rapidez, Versatilidade e Eficiência. De forma a melhorar os seus processos internos e demonstrar o seu compromisso com o cliente, a empresa obteve a certificação do sistema de gestão da qualidade ISO 9001, em 2015.

Encontra-se localizada na Gafanha da Encarnação (Zona Industrial da Mota) e é constituída por uma equipa de 32 pessoas distribuídas por três departamentos: Departamento Comercial, Departamento de Produção e Departamento de Compras.

Na Figura 6 apresenta-se o organograma da empresa.

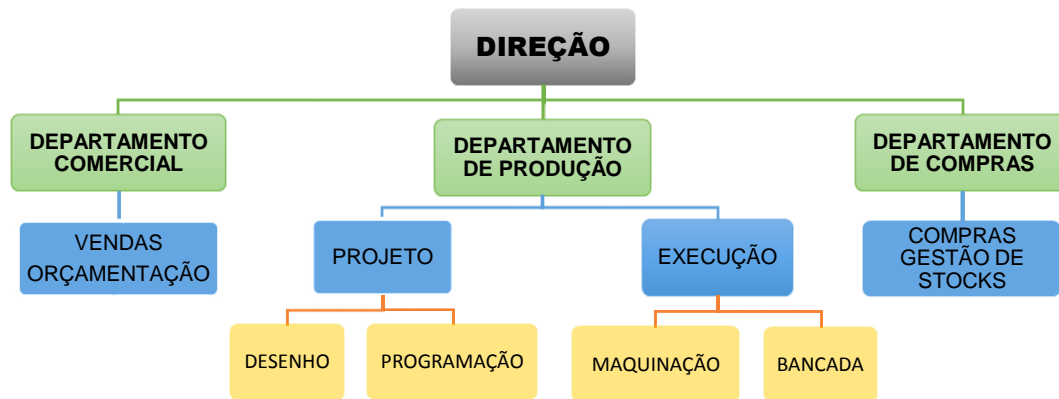


Figura 6- Organograma da empresa (Adaptado do Manual de Acolhimento da Empresa)

As vendas e orçamentação são da responsabilidade do departamento comercial e as compras e gestão de stocks estão incluídas no Departamento de Compras. O departamento que engloba maior parte dos colaboradores é o Departamento de Produção, que se divide em dois ramos, responsáveis por duas etapas do processo: a conceção do projeto e a sua execução.

Na Figura 7 apresentam-se alguns dos produtos feitos na empresa por injeção de termoplásticos e fundição injetada.

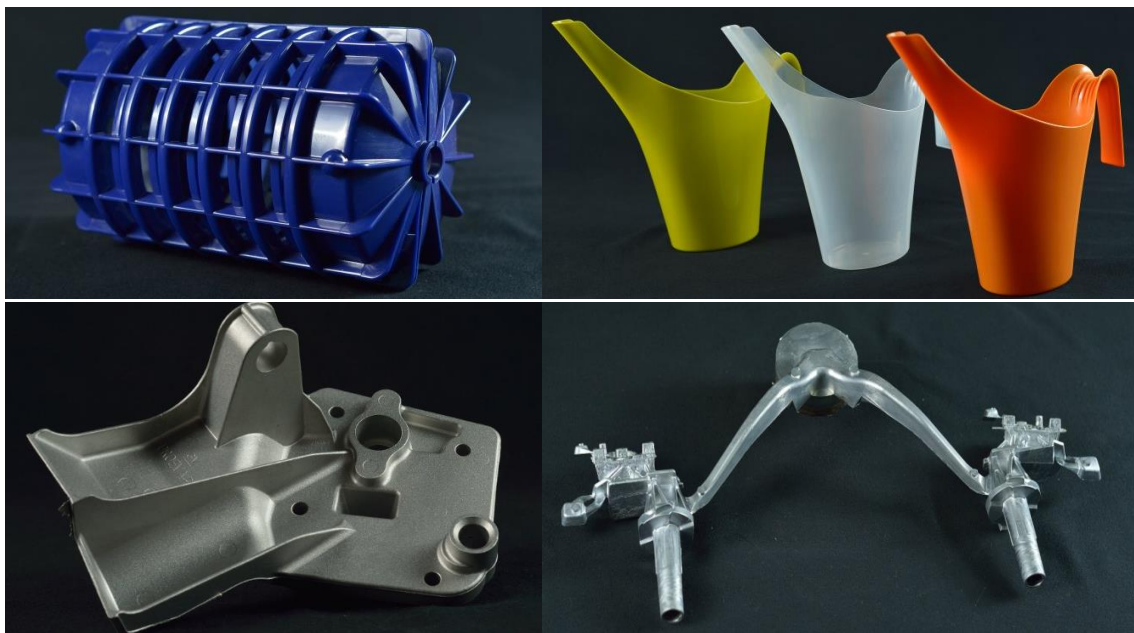


Figura 7- Exemplos de peças injetadas de moldes produzidos na empresa

Na Figura 8, apresenta-se um exemplo do macho de um molde para injeção de termoplásticos na fase de projeto e como produto final.

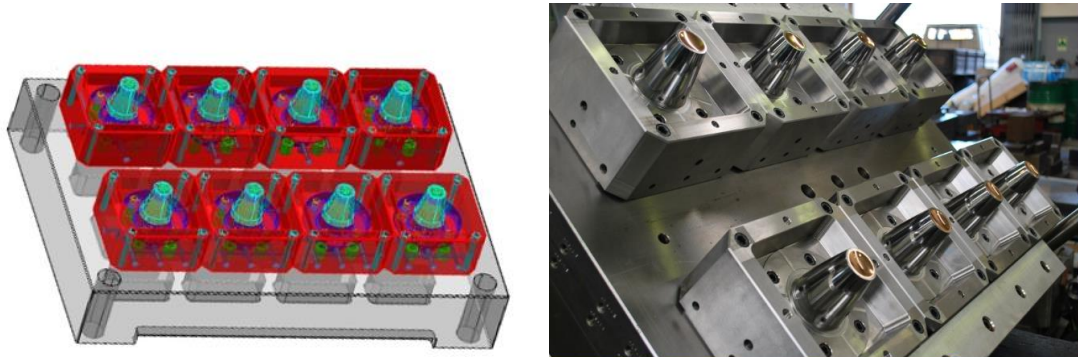


Figura 8- Macho de um molde para injeção plástica (Retirado de apresentação da empresa)

### 2.3. Molde e processo de produção

De forma geral, divide-se o molde em duas partes (Stoeckert, 2013):

- Parte fixa
- Parte móvel

A parte fixa é composta pela placa de aperto da injeção (1) e pela cavidade (2); a parte móvel é constituída pelo macho (3), porta-macho (4), calços (5 e 6), placas de extração (7 e 8) e placa de encosto do lado da extração (9).

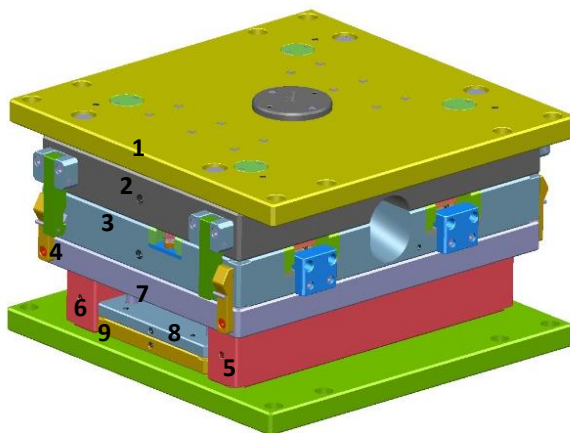


Figura 9- Composição do molde (Adaptado de Pinto, 2014)



A cavidade é a parte na qual é injetado, ou depositado, o material a moldar. O macho é a parte convexa ou saliente do molde, por onde se efetua a extração da peça moldada. Outros componentes fazem parte da constituição do molde. Uns facilitam a criação de zonas de difícil moldagem, como postigos, movimentos e pernos, outros que facilitam a extração da peça moldada, como os extratores, diversos elementos de guiamento e travamento que colaboram para o funcionamento seguro do molde (Stoekhert, 2013).

Segundo Ni *et al.* (2007), as principais atividades do processo de produção de um molde incluem preparação da orçamentação, processamento da ordem de compra do cliente, gestão do projeto e gestão da entrega.

Os mesmos autores sugerem o processo geral de produção de moldes, que a seguir se descreve. Quando uma cotação é pedida, o departamento de vendas deve responder prontamente ao cliente, com um relatório de orçamentação que inclua a informação essencial do preço, assim como os termos e condições estabelecidos pela análise do pedido e previsão de custos. Quando um orçamento é aceite, o cliente envia um pedido de compra oficial. Quando este pedido é recebido, os projetos são iniciados para cada molde na ordem de compra. Após isso, desenho, produção e recursos são geridos baseados no projeto (Ni, Feng, Yarlagadda, & Ming, 2007).

Para Ni *et al.* (2007), o processo de desenho implica gerir as atividades de modelação e de informação de forma a otimizar a eficiência e qualidade do desenho. Ao receber uma ordem do cliente, os desenhos dos produtos a moldar são enviados para o departamento de desenho. O primeiro desenho do layout deve determinar a estrutura geral do molde e as especificações das peças chave, tais como tipo de molde e mecanismo de injeção de acordo com o requerido pelo cliente.

Após o desenho do *layout* ser confirmado internamente é enviado ao cliente para revisão e aprovação. O desenho de detalhe inicia-se após confirmação do cliente. Dependendo da importância das peças, poderá ser pedido aos desenhadores para submeterem as suas modelações, a revisão e aprovação. Finalmente, o responsável de desenho liberta a modelação final para o planeamento e produção.

O processo de produção que implica a execução dos moldes, consiste em duas fases: planeamento e execução. Na fase de planeamento, o planeamento de requisitos é o primeiro a ser desenvolvido para identificar as operações necessárias de maquinaria de cada elemento nas peças individuais, otimizar a sequência de operações e recursos, e planear *setups* de posicionamento e fixação de

peças para a maquinação. Após este planeamento, inicia-se o planeamento geral para determinar o tempo necessário para completar as partes e cumprir o prazo de entrega. Baseado no resultado do planeamento geral, a programação de produção é ainda realizada para alocar intervalos de tempo para cada operação de maquinação, de acordo com a capacidade disponível dos equipamentos. Para assegurar que o material necessário está pronto a utilizar quando necessário, o planeamento de material é igualmente feito, de forma a determinar a melhor altura para emitir ordens de pedido de materiais. Após planear e calendarizar, o processo de produção segue para a fase de execução. Os supervisores de produção atribuem tarefas de maquinação aos operadores diariamente. O progresso de produção é rastreado e monitorizado de acordo com o calendarizado.

O processo de gestão das compras gere-se de forma a que as requisições de materiais, ordens de compra e inventário suportem os outros processos. De acordo com os planos de material, o departamento de compras prepara e emite ordens de compra aos fornecedores adequados. O responsável de stocks organiza os materiais recebidos e distribui-os nos postos de trabalho quando solicitados. Este processo é também responsável por manter em níveis seguros material não planeado, que é a quantidade mínima de bens individuais a manter em *stock* (Ni et al., 2007).

Na Figura 10, pode ver-se a representação do mapeamento das atividades deste processo, de acordo com a sugestão dos investigadores.

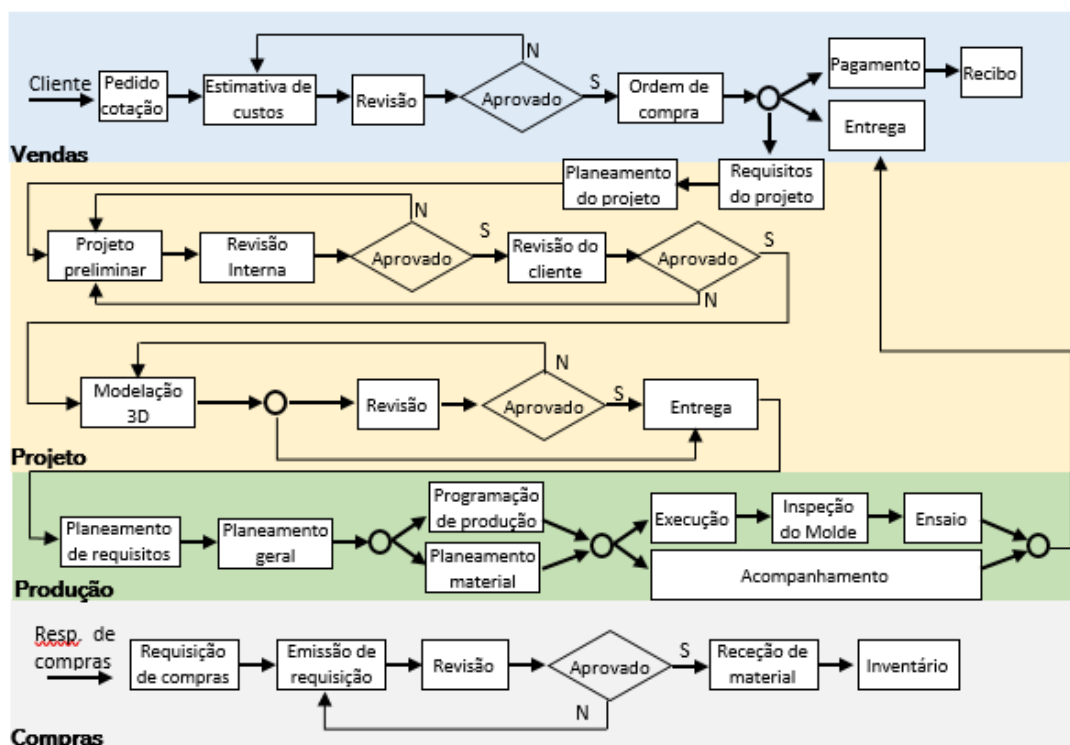


Figura 10 - Processos críticos na indústria de moldes (Adaptado de Ni et al., 2007)

### 3. Enquadramento teórico

Este capítulo apresenta a revisão de literatura realizada sobre os conceitos relacionados com o trabalho a desenvolver: o *Value Stream Mapping* e a Teoria dos Constrangimentos.

#### 3.1. Value Stream Mapping (Mapeamento da Cadeia de Valor)

O principal responsável por valores insuficientes de desempenho operacional, sejam estes medidos em termos de *lead time* ou custos de produção, é o desperdício (Gay, 2016). Na linguagem *lean*, a palavra utilizada para designar desperdício é «*muda*», que assim como muitas outras designações associadas à filosofia *lean*, é uma palavra japonesa.

A filosofia *Lean*, teve origem a partir do conceito produção *just-in-time* do *Toyota Production System* (TPS), criado por Taiichi Ohno (Lander, Systems, & Liker, 2007).

Cerca de uma década depois, em 1990, Womack e Jones, lançam o livro «A máquina que mudou o mundo», que teve um papel fundamental na disseminação do conceito *lean* pelo resto do mundo (Holweg, 2007). Para, Womack e Jones (1996), um desperdício significa qualquer atividade humana que absorve recursos, mas não acrescenta qualquer valor.

Os 7 desperdícios da produção foram identificados e categorizados por Taiichi Ohno da seguinte forma (Cortes *et al.*, 2016):

1. Defeitos;
2. Excesso de produção;
3. Tempos de espera;
4. Transporte;
5. Movimentação;
6. Atividade desnecessária;
7. Inventários.

Womack e Jones (1996) acrescentaram um oitavo desperdício, a produção de bens ou serviços que o cliente não procura e Liker (2004) adicionou como desperdício criatividade não explorada.

Felizmente, existe um poderoso antídoto para o «*muda*»: a filosofia *lean*. Esta fornece uma forma de especificar valor, alinhar ações criadoras de valor na melhor sequência, de forma a conduzir

essas ações sem interrupção onde forem necessárias e desempenhá-las mais eficazmente (Womack & Jones, 1996). A definição de valor é, portanto, a primeira etapa crítica na filosofia *lean*. Por isso, será utilizada, para este projeto, o Value Stream Mapping, como ferramenta de apoio à identificação de procedimentos criadores de valor e não criadores de valor.

Segundo Monden (1983), referido por Hines e Rich (1997), existem três tipos de operações que são realizadas. Estas são categorizadas em: (1) operações que não adicionam valor (NVA); (2) operações necessárias, mas que não adicionam valor (NNVA); e (3) operações que adicionam valor (VA).

As primeiras, atividades não necessárias que não acrescentam nenhum valor devem ser tratadas como desperdícios e eliminadas. As segundas, que não acrescentando valor são, porém, necessárias devem ser analisadas e reduzidas. Assim, criar-se à o espaço necessário para investir nas etapas efetivamente criadoras de valor, e otimizá-las.

O *Value Stream Mapping* é um método de produção *lean* que utiliza símbolos, métricas e setas para apresentar e melhorar o fluxo de inventário e de informação requerida para a produção de um produto ou serviço destinado a um cliente. É utilizada para apoiar os processos de produção em curso e para criar estados de processo ideais (Venkataraman et al., 2014).

Para Vamsi (2013), a *VSM* é uma importante ferramenta que ajuda a compreender as condições operacionais presentes e a reconhecer oportunidades de melhoria para otimizar o desempenho produtivo.

O seu desenvolvimento é constituído por cinco fases: (1) Seleção de uma família de produtos; (2) Definição do estado presente; (3) Definição do estado futuro pretendido e (4) planeamento da ação e (5) implementação (Ibon Serrano, Carlos Ochoa, & Rodolfo de Castro, 2008).

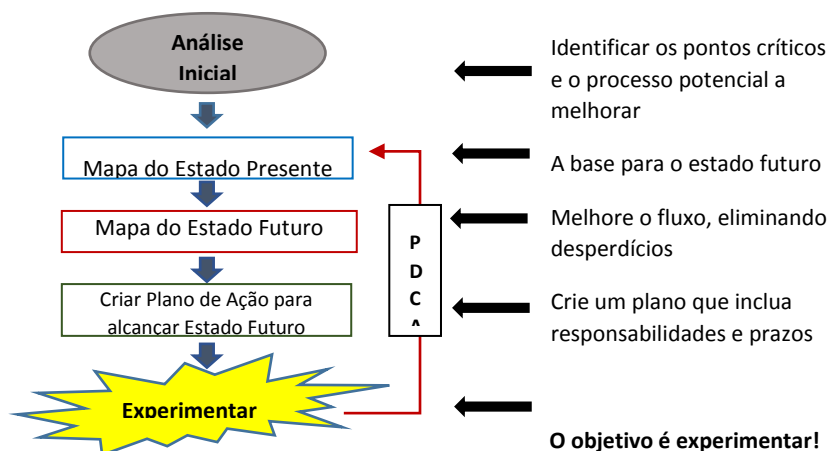


Figura 11 - Fases de implementação do VSM e respectivos objetivos (Adaptado de Tyagi, Choudhary, Cai, & Yang, 2015)

Segundo Hines e Rich (1997), de forma a alcançar melhorias na cadeia de fornecimento, antes de se proceder a qualquer atividade de mapeamento, deve-se obter um entendimento superficial dos desperdícios particulares a serem reduzidos

Os autores, baseados nas ferramentas de mapeamento sugeridos por outros investigadores, sugerem que, dependendo de quais forem os principais desperdícios de Ohno, deve ser aplicada uma de sete ferramentas de mapeamento da cadeia de valor.

Na Tabela 2 estão representadas sete ferramentas de mapeamento de processo, que na perspetiva dos autores mais se adequam à análise e eliminação de cada um dos sete desperdícios.

Tabela 2- Ferramentas de mapeamento de fluxo (Hines & Rich, 1997)

Ferramenta de Mapeamento							
Desperdícios /Estrutura	Mapeamento atividades do processo	Matriz de resposta da cadeia de abastecimento	Funil da produção variada	Filtro do Mapeamento da qualidade	Mapeamento da amplificação da procura	Análise do ponto da decisão	Estrutura física (a)volume (b)valor
Sobreprodução	B	M		B	M	M	
Espera	A	A	B		M	M	
Transporte	A						B
Processamento Inapropriado	A		M	B		B	
Inventário Desnecessário	M	A	M		A	M	B
Movimentos desnecessários	A	B					
Defeitos	B			A			
Estrutura geral	B	B	M	B	A	M	A

Notas: A-Alta correlação e utilidade  
M-Média correlação e utilidade  
B-Baixa correlação e utilidade

### 3.2. Teoria dos Constrangimentos (Theory of Constraints - TOC)

A Teoria dos Constrangimentos foi proposta pelo físico israelita, Eliyahu M. Goldratt, no livro «*The Goal*» (1984) e é uma filosofia de gestão que se baseia na otimização de **restrições** ou **bottlenecks**.

Esta teoria foi inspirada, pela experiência anterior do autor, no desenvolvimento, nos finais dos anos 70, de um software de programação da produção, o *Optimized Production Technology* – OPT. É uma teoria sistemática que foi desenvolvida para assistir as organizações a pensar e identificar os

seus problemas e a desenvolver e implementar soluções que os permitam resolver com sucesso (Şimşit, Günay, & Vayvay, 2014).

A Teoria dos constrangimentos refere como princípio fundamental a identificação e eliminação de restrições (constrangimentos) do processo produtivo, não só para aumentar a produtividade, mas como uma ferramenta para medir e controlar o fluxo de materiais (Izmailov, 2014).

Uma característica distintiva da perspectiva de sistemas de Goldratt é o reconhecimento que há sempre limitações para a performance do sistema, e que apesar da teia enredada de relacionamentos, essas limitações são causadas por um pequeno número de elementos do sistema, normalmente apenas um, designado por “constrangimento” (Mabin, 2008).

O constrangimento pode ser físico - tal como um equipamento com capacidade limitada, ou limitações de matéria-prima, mas mais frequentemente são constrangimentos políticos ou comportamentais. Os constrangimentos políticos acontecem frequentemente quando o ambiente em que a empresa está situada muda, enquanto que as políticas da empresa permanecem inalteradas. Estas restrições estão normalmente ligadas à administração da organização. Os constrangimentos comportamentais ocorrem quando as políticas de liderança ou de desempenho levam a comportamentos, que mesmo após a mudança dessas políticas, permanecem enraizados e comportam-se como constrangimentos ao sistema: «*Velhos hábitos nunca mudam*» (Mabin, 2008).

A TOC tem uma larga escala de implementação, podendo ser aplicada na produção, logística, cadeia de abastecimento, gestão de projetos, contabilidade, I&D, vendas, marketing, etc...

Sendo o objetivo de qualquer empresa, aumentar o seu lucro, os constrangimentos são os principais obstáculos para o atingir. Então, se as companhias conseguirem lidar com esses constrangimentos, terão uma melhoria no seu sistema de gestão e, conseqüentemente maiores lucros (Şimşit et al., 2014).

O conceito da TOC pode ser sumariado como:

- a) Todos os sistemas têm pelo menos um constrangimento. Caso contrário, um sistema real como uma organização lucrativa teria lucros ilimitados. Conseqüentemente, um constrangimento, é qualquer coisa que limita um sistema de obter um desempenho superior versus o seu objetivo (Eliyahu M. Goldratt & Cox, 1984).

- b) A existência de constrangimentos representa uma oportunidade para melhoria. Contrariamente ao pensamento convencional, a TOC vê os constrangimentos como positivos. Sendo que estes determinam o desempenho do sistema, uma elevação gradual dos constrangimentos do sistema irá melhorar o seu desempenho (Mahesh C. Gupta, 1995)

Segundo Goldratt (1990), três questões devem ser respondidas para lidar com os constrangimentos; (i) «o que mudar?», (ii) «para o que mudar?», (iii) «como mudar?» As respostas a estas questões relacionam-se com os 5 passos propostos por Goldratt para a implementação da Teoria dos Constrangimentos no ambiente operacional:

1. Identificação do constrangimento. Todo os sistemas têm um constrangimento/ restrição. Este é o elo mais fraco que limita o sistema de alguma forma. A eficácia do sistema será definida pelo ritmo do elo mais fraco, e este pode variar entre constrangimentos físicos, tais como, equipamentos com menor capacidade no sistema, políticas ou comportamentos e constrangimentos externos ao sistema.
2. Retire o máximo do constrangimento. Otimize ao máximo a eficiência e eficácia do gargalo.
3. Subordine as outras atividades ao constrangimento. Faça as saídas das outras atividades responderem ao constrangimento. Evite que o constrangimento espere por trabalho.
4. Eleve o constrangimento. Invista num novo equipamento ou aumente o número de operadores, para aumentar o *output*.
5. Volte ao Passo 1. Verifique se outro ponto do sistema se torna o constrangimento. Goldratt argumenta que TOC é um processo iterativo de melhoria (Goldratt, 1990; Lubitsh, Doyle, & Valentine, 2005).

A resposta à primeira questão («O que mudar?») está relacionada com a identificação dos constrangimentos, a segunda questão («Para o que mudar?») reflete a necessidade de otimizar o constrangimento para melhorar o desempenho. Por fim, Goldratt (1990) indica o caminho da otimização («Como mudar?»), elevando o constrangimento e subordinando ao mesmo as restantes tarefas.





## 4. Caso de Estudo

Neste capítulo será apresentado o caso de estudo. Numa primeira fase serão explicadas as etapas de desenvolvimento deste projeto. De seguida serão apresentados os resultados de cada uma das etapas enumeradas.

O caso de estudo desenvolveu-se, então, em três fases gerais:

1. Aprendizagem do processo produtivo;
2. Identificação dos constrangimentos;
3. Apresentação de propostas de melhoria.

Na *Figura 12* apresentam-se esquematicamente as fases gerais do projeto.



*Figura 12- Fases do projeto (elaboração própria)*

Então, na primeira fase, para consolidar o conhecimento sobre as várias etapas do processo industrial, foram desenvolvidos o Fluxograma e o *Value Stream Mapping* do processo produtivo da empresa.

Na segunda fase, propôs-se identificar os constrangimentos do processo. Numa primeira fase, recorreu-se à análise estatística dos tempos de paragem de máquinas e associação dessas paragens a acontecimentos específicos (avarias, ausência de ordens de trabalho, indisponibilidade de operadores) para dar resposta à preocupação diária da gestão, com o elevado tempo de paragem de equipamentos.

A segunda qualitativa, utilizando a metodologia Investigação-Ação (*Action Research*), para identificação de constrangimentos em diferentes etapas do processo de produção.

Por fim, será feita uma análise das restrições identificadas e serão feitas as propostas de melhoria.

#### 4.1. Descrição do Processo de produção da empresa

O processo de produção do molde na empresa inicia-se com o pedido de orçamentação e prazo de entrega por parte do cliente. Este especifica as características do molde (uma ou várias cavidades, número de injeções pretendidas, caderno de encargos, ...) que pretende, e entrega a modelação 3D e o desenho técnico da peça. Após análise da mesma, da tipologia e complexidade do molde e dos custos previstos é enviada a resposta à cotação do cliente. Numa grande parte das vezes, a negociação faz parte deste processo, dando lugar a ajustamentos no valor e no prazo de entrega. Se houver acordo entre as partes, pode-se iniciar o projeto preliminar.

Na fase do projeto preliminar, é desenvolvido um esboço do molde, e é quando se define o sistema de canais de injeção, a dimensão, e os tipos de aço das placas principais que constituem um molde. O projeto é apresentado ao cliente, e em caso de aceitação pode-se dar início ao desenvolvimento do molde e compra dos aços principais.

A etapa de conceção do molde, dependendo da complexidade do molde pode demorar várias semanas. São definidos e modelados os postigos, movimentos, acessórios de guiamento, acessórios de refrigeração, acessórios de fixação, acessórios de extração, apoios, entre outros, de forma a garantir que o projeto está de acordo com os requisitos do cliente, mas sem esquecer os custos implicados nos processos seguintes de maquinação, ajustes e montagem do molde. É criada uma lista de materiais pelo desenhador responsável, que é entregue ao departamento de compras para iniciar o processo de compras de restantes aços e acessórios do molde.

Dependendo dos prazos estipulados e da capacidade disponível dos equipamentos de maquinação, mesmo antes do projeto de conceção do molde estar terminado é iniciada a fase de programação e maquinação. O programador passa os programas CAM aos operadores CNC que iniciam as etapas de maquinação dos componentes do molde.

O processo de maquinação inicia-se com o galgamento do aço. Este consiste no desbaste do bloco de aço, para que as suas dimensões se aproximem das pretendidas. Segue-se o desbaste, etapa de

remoção de aço para criar a geometria da peça, deixando-a com sobre espessura de 1 mm, para posterior acabamento.

Na fase seguinte executam-se na peça as furações necessárias de fixações, extração e águas. Dependendo da função da peça e do tipo de aço utilizado, a peça segue para tratamento térmico. Esta técnica assegura que os componentes mais sensíveis do molde sejam dotados de uma maior resistência. Por isso, de forma geral, as partes moldantes do molde são sujeitas a tratamento térmico.

Na operação de retificação anulam-se possíveis deformações que a peça possa ter ganho no desbaste e assegura-se a planicidade das placas.

Durante o acabamento final realizado em máquinas CNC de 3 ou 5 eixos, remove-se a sobre espessura de material e a peça fica definida pela sua forma e dimensões finais.

Em algumas geometrias é necessário utilizar outras técnicas de remoção do aço como a erosão. No caso de peças com furos que necessitem ser calibrados ou ranhuras estreitas, recorre-se à erosão de fio, no caso de esquinas vivas que possam ser deixadas no acabamento e geometrias complexas recorre-se à erosão de penetração ou eletroerosão.

Para se realizar a erosão por penetração, são maquinados elétrodos com a forma com que se pretende obter a peça.

Acabada a produção de todas as peças, inicia-se a fase de montagem e ajustamentos na bancada. Nesta fase, as partes moldantes do molde são sujeitas a polimento manual, instalam-se os acessórios e realiza-se a montagem e ajustamentos necessários ao correto funcionamento do molde. No caso de necessidade, algumas peças serão retificadas.

O molde é então enviado para o cliente para que o possa testar, através de produção de peças, fase denominada por Ensaio. Se as peças tiradas não estiverem de acordo com o pretendido pelo o cliente, o molde volta à fábrica para novo ajustamento. O processo termina quando as peças produzidas forem aprovadas pelo cliente.

É importante referir que esta é uma descrição geral do processo de produção do molde, existindo processos de apoio, administrativos e de qualidade que não estão incluídos. Por outro lado, para alguns componentes mais simples existem etapas em excesso, já que existem componentes do molde que não são sujeitas a todas as etapas de maquinação. Como forma de representar a sequência das etapas chave do processo, desenvolveu-se o fluxograma que a seguir se apresenta.

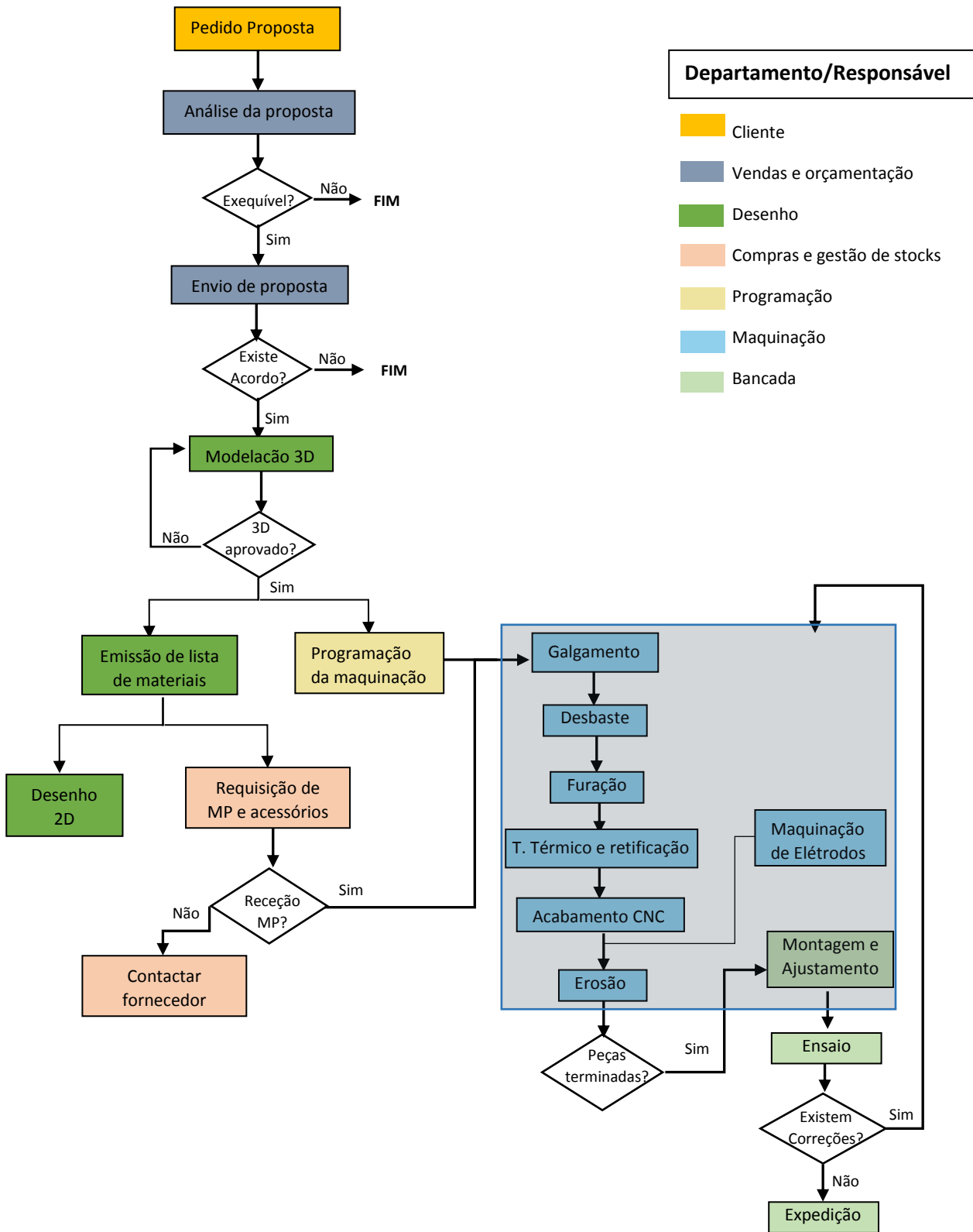


Figura 13 - Fluxograma do processo produtivo da empresa

## 4.2. Desenvolvimento do Value Stream Mapping Atual (As Is)

Nesta etapa foi feito o mapeamento do processo atual. O VSM foi desenvolvido para as partes moldantes do molde, uma vez que são as peças que, na generalidade, passam por todas as etapas de produção.

Numa primeira fase foram definidas as etapas criadoras de valor, as etapas não criadoras de valor, mas necessárias e as etapas não criadoras de valor e desnecessárias, que se apresentam na tabela seguinte.

*Tabela 3- Etapas criadoras de valor e etapas não criadoras de valor (necessárias e desnecessárias) do processo de produção de um molde*

	CV	NCV necessárias	NCV desnecessárias
<b>ETAPAS</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modelação 3D;</li><li>• Maquinação;</li><li>• Galgamento e desbaste;</li><li>• Furação;</li><li>• Tratamento térmico e retificação;</li><li>• Maquinação 3D (Acabamento);</li><li>• Erosão por penetração;</li><li>• Erosão de fio;</li><li>• Ajuste e montagem.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Desenhos 2D;</li><li>• Compras;</li><li>• Orçamentação.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tempos de paragem;</li><li>• Tempos de Setup;</li><li>• Movimentações desnecessárias.</li></ul>

O processo de desenvolvimento do VSM consistiu no acompanhamento, de uma cavidade desde a fase de projeto até à sua montagem. No entanto, a complexidade e desorganização do processo, não permitiu o registo dos tempos das etapas criadoras de valor e não criadoras de valor. Este impedimento, durante o período de realização deste projeto, justifica-se pelas várias transições entre departamentos e recursos, a variabilidade das rotas de trabalho, e grande concorrência na utilização dos recursos, que se reflete em acentuadas divergências nos tempos de paragem entre etapas de elementos de uma mesma família de produtos.

Apesar disso, o desenvolvimento do seu esboço (anexo A), permitiu a discriminação das etapas e foi extremamente útil para a consciencialização dos desperdícios. Crê-se que a sua aplicação seja

mais útil no futuro, quando o processo estiver mais uniformizado, através da implementação de outras ferramentas de planeamento e controlo.

### 4.3. Análise quantitativa dos tempos de paragem de equipamentos

A análise dos tempos de paragem de equipamentos foi feita para um período de seis meses. O registo é feito numa tabela preparada pelo departamento de qualidade, sendo que, o seu preenchimento está a cargo dos operadores de cada equipamento.

O objetivo desta análise é numa primeira fase fazer um diagnóstico e determinar a capacidade disponível, e a taxa de utilização e de paragem dos equipamentos do layout industrial.

Numa segunda fase analisam-se as causas associadas às paragens dos equipamentos, para que se possam planear soluções que otimizem a sua utilização.

O registo dos tempos de paragem de equipamentos era já realizado na empresa, quando se iniciou este projeto. Os dados não eram, porém, tratados estatisticamente e as causas de paragem não eram associadas a acontecimentos específicos. Após sugestão, foi incluído esse registo e no segundo trimestre de 2017 é possível definir algumas das causas das paragens desses equipamentos.

#### 4.3.1. Determinação da capacidade disponível e taxa de utilização

Para que se possa fazer planeamento de produção, é indispensável ter conhecimento da capacidade de produção de cada equipamento ou grupos de equipamentos que desempenhem as mesmas funções. Determinou-se a capacidade disponível, para os seis meses em estudo, com as seguintes considerações.

Existem dois turnos de trabalho, um diurno (08h-17h) e um noturno (17h-01h), ao longo de 5 dias da semana. O horário da noite, conta com um número consideravelmente inferior de trabalhadores e só alguns equipamentos operam. A determinação da capacidade disponível mensal, foi determinada, considerando que os equipamentos apenas operam quando está o operador. Cada colaborador tem sobre sua responsabilidade um ou mais equipamentos.

A taxa de utilização e de paragem dos equipamentos foi determinada através das expressões matemáticas:

$$\text{Taxa de paragem} = \frac{\text{Tempo de paragem}}{\text{Capacidade disponível}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Taxa de utilização} = 100 - \text{Taxa de paragem} \quad (2)$$

Na tabela 4 é possível verificar a capacidade disponível para cada equipamento e a secção onde o equipamento está incluído. As secções de maquinaria estão relacionadas com algumas das etapas de produção do molde: Desbaste, Galgamento, Máquinas de elétrodos, Acabamento peças pequenas, Acabamento peças médias, Acabamento peças grandes e Erosão.

Tabela 4- Determinação da Capacidade disponível, Taxa de paragem e Taxa de utilização dos equipamentos

Secção	Descrição	Nº Eq.	Disponibilidade diária (horas)	Capacidade disponível (1º Sem) (horas)	T <sub>par</sub> total	Taxa de paragem	Taxa utilização
<b>A</b>	<i>Desbaste</i>	5	16	1952	642,5	32,9%	67,1%
		8	16	1952	545	27,9%	72,1%
		17	16	1952	622,5	31,9%	68,1%
<b>B</b>	<i>Galgamento</i>	4	8	976	314,5	32,2%	67,8%
<b>C</b>	<i>Elétrodos</i>	2	16	1952	68	3,5%	96,5%
		3	16	1952	68,1	3,5%	96,5%
		9	16	1952	35	1,8%	98,2%
<b>D</b>	<i>Acabamento (peças pequenas)</i>	14	16	1952	185,5	9,5%	90,5%
		15	16	1952	379	19,4%	80,6%
		69	16	1952	200,5	10,3%	89,7%
<b>E</b>	<i>Acab. (peças médias)</i>	75	16	1952	61	3,1%	96,9%
<b>F</b>	<i>Acabamento (peças grandes)</i>	16	16	1952	430,5	22,1%	77,9%
		70	16	1952	402	20,6%	79,4%
		74	16	1952	332	17,0%	83,0%
<b>H</b>	<i>Erosão Penetração</i>	12	8	976	910	93,2%	6,8%
		19	8	976	647	66,3%	33,7%
		20	8	976	658,5	67,5%	32,5%
		73	8	976	291,5	29,9%	70,1%

Fez-se igualmente uma verificação da taxa de ocupação dos equipamentos do layout industrial durante o período em análise.

Tabela 5- Cálculo da percentagem de ocupação dos equipamentos do piso industrial

	<i>Janeiro</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Março</i>	<i>Abril</i>	<i>Mai</i>	<i>Junho</i>
<b>Tempo paragem mensal</b>	1361,5	1390,5	1547	882,6	1178,5	1340,5
<b>Capacidade disponível mensal</b>	5456	4464	5704	4216	5456	4960
<b>% paragem mensal</b>	25,0%	31,1%	27,1%	20,9%	21,6%	27,0%
<b>% ocupação mensal</b>	75,0%	68,9%	72,9%	79,1%	78,4%	73,0%

Da Tabela 5 verifica-se que a percentagem de ocupação dos equipamentos do piso industrial nos meses consecutivos de janeiro a junho de 2017 varia entre 68,9% e 79,1%. Estes valores dão o panorama geral da empresa e indicam que há trabalho a ser feito, no sentido de otimizar os valores de ocupação.

Relativamente à secção com maior taxa de tempo de paragem, verifica-se na erosão. Esta secção com 4 equipamentos apresenta o preocupante valor de taxa de paragem de 64,2%. Nesta secção há equipamentos que são usados de forma esporádica, como é o caso do equipamento número 12, mas mesmo sendo este excluído de análise, a taxa de paragem seria aproximadamente 55%.

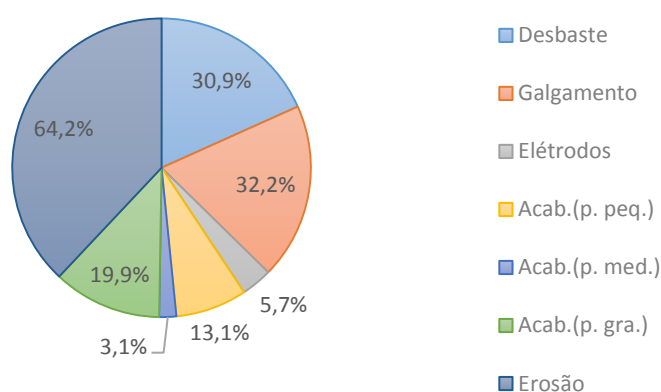


Gráfico 1- Taxa de paragem por secção

O equipamento de utilização preferencial, é o equipamento número 73, com taxa de ocupação de 70,1%. Ao contrário dos outros, este equipamento possui alimentação de eléctrodos. Este sistema



permite a troca automática do eletrodo, e a introdução de um único programa de maquinação para erodir os vários pontos necessários, tornando o processo de erosão mais eficiente. É utilizado para erosão dos postigos principais (macho e cavidade) e erosão em conjunto (erosão dos postigos principais com outros postigos já ajustados).

Os restantes equipamentos utilizam apenas um eletrodo de cada vez e são utilizados para peças mais pequenas do molde (movimentos, postigos pequenos, ...)

As restantes secções que refletem uma taxa de paragem superior são galgamento e desgaste, com respetivamente 32,2% e 30,9%. Uma primeira análise possível, é que estas secções representam a etapa inicial de produção e os equipamentos que as integram, são utilizados para galgamento e desgaste de componentes de maiores dimensões. Para as peças pequenas e médias, essas etapas ocorrem nas máquinas CNC.

A erosão, por outro lado, é para muitos componentes a etapa final de maquinação. Esta etapa, como já foi referido, é utilizada na maioria das vezes, apenas em partes moldantes do molde.

É também importante refletir sobre os equipamentos com taxa de ocupação mais elevada, uma vez que são os recursos que podem representar estrangimentos ao processo produtivo. Destacam-se 2 secções: Acabamento de peças médias e maquinação de eletrodos.

Deve-se fazer notar que a secção acabamento de peças médias, dispõe apenas de um equipamento. O equipamento utilizado é a única CNC de 5 eixos existente na empresa e são nela executados os trabalhos de acabamento dos postigos principais. Pelo seu elevado tempo de ocupação e pela singularidade do equipamento, ir-se-á considerar este recurso como estrangimento do processo produtivo.

A maquinação de eletrodos foi a segunda etapa do processo de produção de moldes identificada como estrangimento. Os eletrodos são programados e maquinados para erosão de partes moldantes. Dependendo da complexidade da zona moldante, é necessário um número variável de eletrodos. Em casos, de complexidade elevada o número de eletrodos necessários pode ser de várias dezenas.

Neste tipo de indústria, não se esperam taxas de ocupação perto do pleno, uma vez que é uma indústria que prevê alterações constantes dos inputs a maquinar, ferramentas e para cada uma destas situações, novo programa CNC. Há, no entanto, que identificar os fatores causadores de

paragens nos equipamentos, planejar ações para os atenuar ou eliminar, implementá-las e avaliar a sua eficácia.

#### 4.3.2. Identificação das principais causas de paragem

No segundo trimestre, a folha de registos passou a contemplar o registo das causas da paragem do equipamento. Esta alteração foi comunicada aos operadores e foi solicitada a sua participação. Os fatores de paragem foram definidos por observação e em diálogo com os colaboradores e introduzidos pelo responsável de qualidade na folha de registo de dados.

A partir deste registo foi possível identificar as principais causas de paragem.

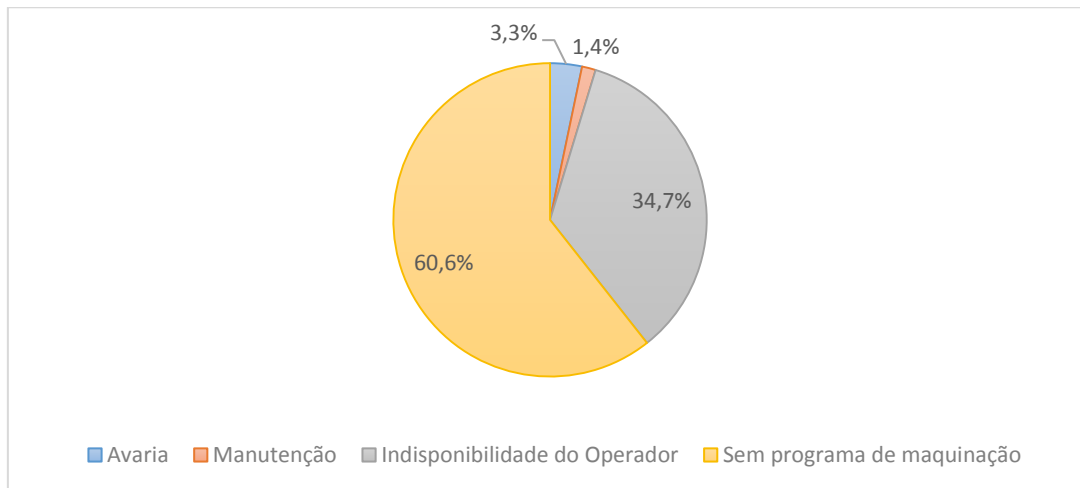


Gráfico 2 - Principais causas de paragem de equipamentos (Dados do 2º Trimestre de 2017)

No gráfico 2 são rapidamente identificáveis as duas causas principais de paragem de equipamentos. Com 60,6% a falta de programa de maquinação e com 34,7% a indisponibilidade do operador.

A interpretação destes valores elevados deve-se a existir apenas uma pessoa responsável pela programação e maquinação CAM e pelos operadores serem responsáveis por mais do que uma máquina. O elevado grau de associação destes dois fatores como responsáveis de paragens de equipamentos, implica no restante estudo que sejam definidos como constrangimentos.

#### 4.4. Identificação/Análise dos constrangimentos

Na secção anterior foram identificados os constrangimentos do processo através de uma análise estatística dos tempos de paragem de equipamentos.

Esses constrangimentos e outros serão analisados com recurso às fases iterativas da *Investigação-Ação* propostas por Salehi & Yaghtin (2015): Realidade Atual, Estado Desejado, Planeamento da mudança e Implementação.

Numa primeira fase far-se-á uma análise da **Realidade Atual** da empresa, apresentando os constrangimentos identificados.

Numa segunda fase, serão apresentadas as sugestões de elevação dos constrangimentos identificados (**Planeamento da mudança**), que contribuam para atingir o **Estado Desejado** do processo.

##### 4.4.1. Realidade Atual

Nesta secção ir-se-á apresentar a **Realidade Atual** da empresa. Os principais constrangimentos ao fluxo do processo foram identificados através do diálogo com colaboradores e observação-ação nas suas várias etapas.

Foi possível verificar a existência de constrangimentos físicos (recursos) e constrangimentos não-físicos (informação e planeamento).

##### A. Constrangimentos não físicos

**Sistema de fluxo de informação não existente:** a empresa apresenta uma deficiente troca de informação entre os diversos departamentos e intervenientes. A informação é dada oralmente de forma informal e não controlada.

A dificuldade em ter a informação disponível para os vários colaboradores é um aspeto diversas vezes verificado no seio da empresa. A falta de informação ou informação incorreta é referida como principal causa para justificar erros de compras, planeamento, projeto e maquinação.

A informação é passada de forma pouco formal, sem recurso a um sistema de gestão da informação. Vários intervenientes têm conhecimento de aspetos diferentes do projeto, não havendo consolidação das informações.

Neste tipo de indústria, onde a participação do cliente no projeto é acentuada, existem alterações constantes de projeto, e diversos projetos e partes a concorrerem entre si, o fluxo não eficaz da informação é sinónimo de não cumprimento de prazos de entrega.

Esta “debilidade” do Sistema de Informação implica, entre outros, que:

- a informação não está disponível para todos os intervenientes do processo produtivo;
- a informação é alterada/perdida ao longo da cadeia;
- nem sempre toda a informação necessária é transmitida/recebida.

Este insuficiente fluxo de informação provoca atrasos no processo, ausência de conhecimento de prioridades entre projetos e até em alguns casos, é responsável por erros de produção.

**Planeamento insuficiente:** no planeamento do projeto, é utilizada na empresa uma ferramenta, o *planning*, que contempla dois fatores:

- o prazo de entrega da encomenda definida pelo cliente,
- as etapas gerais e tempo necessário para a sua execução.

Esta ferramenta é atualizada como instrumento de controlo do desenvolvimento do projeto e é atualizado semanalmente para envio ao cliente.

Apesar de existir esta ferramenta de controlo, não há um planeamento de produção efetivo que contemple a gestão dos “conflitos” e definição de prioridades entre os diferentes projetos e partes do projeto.

Não existe uma distribuição das tarefas articuladas entre os diferentes departamentos e não é preparada a distribuição diária, ou semanal de tarefas, pelos equipamentos do layout industrial e operadores. As distribuições das ordens de trabalho são entregues aos operadores, quando comunicam ao responsável de maquinaria que a tarefa anterior foi terminada.

Esta lacuna no planeamento pode ser responsável por:

- falha na verificação de pontos críticos e prioridades;
- tempo estimado para a entrega do molde insuficiente;
- o aumento do tempo de paragem de equipamentos;
- atrasos na maquinação, por competição das “partes” pelo mesmo equipamento.

## **B. Constrangimentos físicos**

### **Corte de aço (indisponibilidade do material para maquinação)**

As placas de aço da estrutura e partes moldantes principais (macho e cavidade) são comunicadas numa fase inicial do projeto (após conceção do projeto preliminar) ao responsável de compras, através da utilização de uma lista de aços. Estas placas de dimensão superior são adquiridas externamente a fornecedores. Como existe esta comunicação prévia, quando a fase de modelação do molde termina, o aço de dimensão superior está quase sempre, imediatamente disponível para maquinação.

Os aços de menor dimensão são adquiridos à posteriori, após emissão da lista de materiais. O responsável de compras começa por verificar se o aço existe ou não em stock. Em caso positivo, entrega ao responsável de corte de aço uma requisição interna.

O corte de aço está, então, dependente da emissão de requisições internas, da responsabilidade do responsável de compras, que por sua vez depende da emissão da lista de materiais, da responsabilidade do desenhador do projeto.

Uma vez que o responsável de corte de aço tem outras tarefas na empresa, o corte de aço é por vezes negligenciado, chegando-se a acumular um elevado número de requisições internas. O colaborador corta o aço por ordem de entrega, não tendo conhecimento das prioridades da maquinação.

Uma vez que este procedimento, não tem mecanismos de controlo, a inexistência de aço cortado é detetada, quando o responsável de maquinação, pretende iniciar a maquinação da peça.

Desta forma, identificou-se o corte de aço como uma restrição do processo, com responsabilidade:

- no aumento do tempo de paragem de equipamentos;
- em atrasos na maquinação.

## Recursos

Baseado na análise dos tempos de paragem de equipamentos, foram identificadas 2 secções responsáveis por restrições na produção: Secção de acabamento de peças médias e maquinação de elétrodos.

A **secção de acabamento de peças médias** é constituída por apenas um equipamento, a CNC 5 eixos. A CNC 5 eixos é a máquina mais disputada pelos vários projetos, por ser a máquina que realiza o trabalho mais rapidamente, com melhores acabamentos e menos suscetível à ocorrência de erros. Este equipamento realiza com um só *setup*, tarefas que teriam que ser realizadas em diversos equipamentos dos presentes no layout industrial. Nesta empresa este equipamento destina-se essencialmente ao acabamento dos postigos principais dos moldes.

É por isso indispensável que não hajam paragens além das necessárias neste equipamento, e que os tempos de *setup* sejam os menores possíveis. Para salvaguardar uma utilização eficaz deste equipamento, este é operado por um dos colaboradores mais experientes da empresa.

A **secção de maquinação de elétrodos** tem três equipamentos, que operam com uma taxa de ocupação de 94,3% da sua capacidade disponível. Sendo que, na maioria das vezes, cada molde necessita de várias dezenas de elétrodos, um atraso nesta etapa de produção poderá implicar atrasos na secção de erosão, e conseqüentemente, não cumprimento dos prazos de entrega dos moldes.

### 4.4.2. Estado desejado, planeamento da mudança e implementação

Neste subcapítulo serão apresentadas as sugestões de melhoria aos constrangimentos identificados. As propostas são na generalidade baseadas na opinião do autor, mas recorre-se a propostas de outros autores, quando se considera pertinente.

#### Otimização do Fluxo de informação

Para otimizar o fluxo e consolidação da informação propõe-se:

- Reuniões semanais de planeamento com os vários responsáveis de projeto;
- Reuniões convocadas quando existirem alterações aos projetos;

- Implementação de um Sistema de Gestão da Informação onde esteja reunida toda a informação importante do projeto;
- Memorandos de reuniões, onde sejam anotados os tópicos e decisões discutidas, para partilha pelos intervenientes.

### **Implementação de planeamento**

As empresas *ETO* deparam-se com a dificuldade de gerir a grande incerteza dos pedidos dos clientes e, conseqüentemente, em organizar todas as suas atividades de forma a responderem eficientemente e eficazmente aos pedidos dos clientes. Nestes contextos, planejar as tarefas dos departamentos de desenho, produção e montagem é uma tarefa complexa, também dada a variabilidade dos tempos de produção e das dificuldades de estimar a carga de trabalho dos recursos (Cannas, Pero, Pozzi, & Rossi, 2018).

No entanto, segundo Chase et al. (2006) um processo de planeamento e controlo de produção bem gerido pode ajudar as empresas a serem capazes de serem flexíveis para satisfazer os clientes, enquanto mantém um elevado nível de eficiência.

Como proposta de melhoria, apresenta-se o método de planeamento, sugerido por Cannas et al. (2018). Os autores propõem uma metodologia baseada em literatura e que consiste numa abordagem em dois passos em que o planeamento *ETO* e as técnicas de gestão lean são integradas e aplicadas após a receção de uma ordem específica de um cliente.

Em linha com outros autores, os dois passos indicados são os seguintes:

(i) Planeamento dos requisitos do projeto: as atividades a serem executadas para cada nova ordem de compra são identificadas (incluindo o design) e os *lead times* esperados computados; então, as datas de início e término de cada uma delas são previstos; (ii) Programação das atividades, considerando as restrições de capacidade e o trabalho em andamento: com base nas datas inicial e final definidas na fase anterior e nos requisitos do desenho e projeto (Cannas et al., 2018)

#### **i) Planeamento dos requisitos do projeto**

No início deste projeto estava em utilização um modelo de planning que contemplava diferentes fases do projeto, desde a conceção do molde, passando pelas compras e as diferentes etapas de maquinação até à fase de montagem. O planning era, no entanto, um pouco geral, no que dizia

respeito às várias partes do molde sujeitas ao processo de maquinação. Alguns clientes, a quem este documento é enviado semanalmente, com atualização do estado de maquinação, pediram para melhorar esse aspeto. Foi, então, sugerida uma alteração ao planning, surgindo uma nova versão, já em utilização na empresa, com inclusão de maior detalhe na identificação das partes do molde.

Por outro lado, o *lead time* esperado para maquinação dos diversos componentes baseiam-se no know-how dos intervenientes. Seria importante a implementação de um sistema de gestão da produção para fazer um registo dos tempos de maquinação dos diversos componentes, criando assim uma base de dados de apoio ao planeamento da produção.

## ii) Programação das atividades

Uma vez que o planeamento dos requisitos do projeto não contempla a competição entre os diversos projetos pelos recursos da empresa, importa refletir sobre a gestão dos “conflitos” e planear definindo as prioridades entre os diferentes projetos e partes do projeto e como distribuir das tarefas diárias pelos equipamentos do layout industrial e operadores.

Para isso torna-se necessário determinar os recursos disponíveis e a sua capacidade, ter conhecimento dos requisitos do projeto e definir as prioridades dos projetos e seus componentes, representando essa informação de maneira a que a sua leitura seja simples.

## Corte de aço

Tendo sido identificado a **falta de aço** para maquinação, como um constrangimento, a primeira proposta de melhoria apresentada à empresa relacionou-se com a necessidade de garantir que todo a matéria-prima necessária à execução do projeto ficasse disponível no prazo mínimo necessário.

Para evitar que o corte de aço seja responsável por atrasos no processo, propõem-se:

- Definição de prioridades das requisições, através de planeamento da produção;
- Otimização do fluxo de informação entre os responsáveis de compras, desenho e corte de aço, por implementação de um SGI;
- Controlo do corte do aço, evitando que esta tarefa seja negligenciada pelo responsável.



### **Restrições de equipamentos**

Da análise dos tempos de paragem de equipamentos, verificou-se, contrastando com outras secções, uma taxa de utilização próxima do limite para a secção de acabamento de peças médias e secção de maquinação de eléctrodos.

Como forma de elevar estas restrições, sugere-se numa primeira fase que a empresa adote práticas que permitam uniformizar o processo de troca de ferramenta e colocação e posicionamento de peças, isto é diminuir o tempo de *setup* associados aos equipamentos.

Caso não seja suficiente a aplicação de procedimentos SMED (*Single Minute Change of Die*), é importante que a empresa faça a análise necessária para verificar a possibilidade de compra de equipamentos para incluir nestas secções, aumentando dessa forma a capacidade disponível de produção.

### **Indisponibilidade dos operadores**

Como já foi referido, o tempo de Setup, não foi contabilizado na análise dos tempos de paragem de equipamentos. No entanto, verificou-se que a indisponibilidade do operador é a segunda causa principal da paragem de equipamentos, tendo responsabilidade em 35% do tempo de paragem. Os operadores têm sob a sua responsabilidade mais do que um equipamento e na realidade estes períodos de indisponibilidade dizem também respeito aos tempos de *setup*, porém, de um outro equipamento.

Outros fatores responsáveis pela indisponibilidade do operador são o transporte de peças no layout industrial, tempos de espera pela ponte, tempo de espera a aguardar ordens de trabalho e esclarecimento de dúvidas na sala de projeto.

Para diminuir este tempo, permitindo, iniciar a maquinação em outro equipamento será importante criar condições para:

- uma troca rápida de ferramentas,
- implementar formas mais rápidas para fixação das peças,
- planeamento das tarefas atempadamente, permitindo a entrega de ordens de trabalho sem ser sob pedido do operador,
- disponibilidade de equipamentos de consulta CAD na produção.

### **Falta de programas CNC**

Na empresa existe apenas um colaborador responsável pela programação da maquinação. Com a quantidade de componentes a maquinar, e apesar da experiência do programador, cumprir esta tarefa de forma consistente é praticamente impossível. Para esta etapa, a sugestão de melhoria é aumentar para dois o número de colaboradores com esta função.

Na página seguinte (Tabela 7), apresentam-se, de forma resumida, a análise sobre o estado atual, o estado desejado, a proposta de solução para o constrangimento e de que forma se deveria implementar a mudança.

Tabela 6- Aplicação da metodologia Active-Research, para elevação dos constrangimentos do processo

Constrangimento	Estado desejado	Realidade atual	Planeamento da mudança	Implementação
Corte de aço	Aço disponível para maquinação	Inexistência de aço; Prioridades não definidas.	Controlo dos processos	Responsável por processo; Planeamento e controlo de produção.
Fluxo Informação	Informação partilhada entre os vários intervenientes	Fluxo de informação comprometido.	Desenvolvimento de ferramentas de troca de informação; alteração de mentalidades	Implementação de SGI; Formação dos colaboradores; Envolvimento da gestão de topo.
Processo – inexistência de planeamento	Processo otimizado	Processo com elevados tempos de paragem de equipamentos; Processo pouco fluido; Ausência de recursos quando necessário; Secção de montagem com excesso ou falta de trabalho.	Planeamento e controlo da produção	Planeamento e controlo de produção; Standardização de processos; Standardização de componentes; Controlo de produção.
CNC 5 eixos (Acabamento de peças médias)	Etapa de acabamento de peças médias sem filas de espera	Tempo de ocupação elevado; Filas de espera de recursos para utilização do equipamento.	Planeamento de produção Aumento da capacidade disponível	Planeamento e controlo de produção; SMED; Aquisição de outro recurso.
Maquinação de eléctrodos	Etapa de maquinação de eléctrodos sem filas de espera.	Tempo de ocupação elevado; Filas de espera de recursos para utilização do equipamento.	Planeamento de produção Aumento da capacidade disponível	Implementação de ferramenta de planeamento; SMED; Aquisição de outro recurso.
Indisponibilidade dos operadores	Taxa de utilização de equipamentos otimizada	Tempo de paragem dos equipamentos elevado	Eliminação de etapas não criadoras de valor	Planeamento e controlo de produção SMED; Organização do espaço de trabalho; Instalação de visualizador CAD na produção.
Falta de programas CNC	Taxa de utilização de equipamentos otimizada	Tempo de paragem dos equipamentos elevado	Aumento da capacidade de programação	Inclusão de outro colaborador.



## 5. Conclusões

Este último capítulo é dedicado à conclusão do presente relatório de projeto. São apresentadas, numa primeira fase, algumas considerações finais relativas à indústria de moldes. De seguida, é dada resposta às questões-problema e por fim, apresentam-se as limitações sentidas ao longo da realização do projeto e as propostas de melhoria ao trabalho presente.

### 5.1. Considerações finais

Durante a realização deste projeto foi possível experienciar a realidade do sector da indústria de moldes. A análise realizada através da observação e desempenho de tarefas na empresa, permitiu identificar e vivenciar algumas das características e dificuldades específicas das indústrias *ETO*.

Foram identificados o prazo de entrega e a confiança na oferta de um produto de qualidade, como os aspetos mais importantes para atribuição do trabalho à empresa.

Na maioria das vezes, os prazos de entrega dos moldes são definidos pelo cliente, tendo que ser a empresa a ajustar a sua carga de trabalho para cumprir a meta estabelecida. Além da complexidade do produto em si, existem pedidos de alterações à peça, por parte do cliente, em diferentes etapas do processo de produção, acentuando a volatilidade do planeamento de produção.

Existindo múltiplos projetos em produção, com diversas partes em competição, as prioridades devem ser bem definidas e redefinidas, caso contrário, pode-se refletir em significativos atrasos na entrega.

### 5.2. Questões-problema

#### 1. Que fatores são responsáveis pelos atrasos na entrega aos clientes?

Da análise estatística dos tempos de paragem de equipamentos, e observação das várias etapas do processo, verificou-se que os fatores responsáveis pelos atrasos nas entregas variavam entre constrangimentos físicos e não-físicos.

Os constrangimentos físicos, dizem respeito, essencialmente, a limitações de recursos de maquinação e de recursos humanos. A nível de maquinação, foi verificada uma taxa de ocupação bastante elevada para os equipamentos de duas secções: Acabamento de peças médias e Maquinação de Eléctrodos. No que diz respeito aos recursos humanos, verificam-se constrangimentos nas etapas de corte do aço e programação. Ainda, o elevado tempo de máquinas paradas, suportam a hipótese de existir necessidade de incluir mais operadores nessas secções.

Por outro lado, foram também identificados constrangimentos não físicos, relacionados com a cultura da empresa. Salientando-se um planeamento e controlo de produção pouco desenvolvido e um fluxo de informação, comprometido pela cultura empresarial e pela ausência de um sistema integrado de gestão da informação.

A dificuldade em se fazer passar a informação entre vários intervenientes é referida como uma das principais causas de erros nos projetos.

## **2. Como podem estes fatores ser controlados, de forma a melhorar o processo produtivo?**

De uma forma geral, os fatores que provocam atrasos no processo, seriam mais facilmente controlados e otimizados se existisse um planeamento e controlo de produção adequado.

Tendo o próprio processo de planeamento sido identificado como um constrangimento ao processo, sugere-se que seja esta o primeiro a ser elevado, e que se verifique posteriormente se as restantes restrições, são eliminadas, ou até se, surgirão outras.

A sugestão de melhoria no planeamento e controlo da produção centrou-se na proposta de Cannas et al. (2018) para as empresas *ETO*. Os autores indicam dois passos que são indispensáveis. São eles, o planeamento dos requisitos do projeto e a programação das atividades.

Outro importante fator a ser controlado para a otimização do processo, é o fluxo de informação. Sugere-se que a empresa adote um sistema integrado de gestão da informação, permitindo aos diferentes intervenientes a partilha e o acesso eficaz de informação.

Este sistema, porém, só será bem-sucedido se for acompanhado de uma alteração da cultura da empresa, sendo de extrema importância a formação e envolvimento de todos os intervenientes, assim como, o acompanhamento constante da gestão de topo.

No que diz respeito às restrições físicas, sugere-se a otimização dos recursos disponíveis, através da standardização de processos e componentes e de implementação de sistemas de troca rápida

de ferramentas, antes de se avaliar a necessidade de adquirir outro equipamento. Mais uma vez, o planeamento terá uma função de destaque nesta melhoria.

### **3. Como diminuir o tempo de paragem dos equipamentos de produção?**

Para responder a esta questão, foram analisadas as principais causas de paragem dos equipamentos. O resultado desta análise, indicou que os principais fatores são a indisponibilidade dos operadores e a falta de programas de maquinação.

Estando os operadores responsáveis por mais do que um equipamento é vital que se eliminem etapas não criadoras de valor. Através da implementação de um sistema de troca rápida de ferramentas, com planeamento da produção, e a instalação de computadores para consulta da modelação na produção, serão eliminados movimentos e tempos de espera não criadores de valor.

Relativamente à falta de ordens de trabalho dever-se-á avaliar a necessidade de contratação de um outro programador.

### **5.3. Limitações e trabalhos futuros**

Como limitações neste estudo, destaca-se a o facto do *Value Stream Mapping* não ter ficado completamente desenvolvido. Considerou-se que a aplicação desta ferramenta era prematura, devido à complexidade e desorganização do processo e que será necessário avançar numa fase inicial com ferramentas de organização e planeamento mais qualitativas, de modo a que seja possível retirar, no futuro, as mais valias da análise do *VSM*.

Seria também importante fazer uma identificação mais detalhada das causas de paragem dos equipamentos e analisar os tempos de *setup*. Esta análise espera-se possível brevemente, uma vez que está previsto a implementação de um software de gestão da produção.

Nos próximos projetos, será importante fazer o estudo detalhado das diversas restrições identificadas, analisando a performance do estado atual e estado futuro, com recurso a indicadores quantitativos.

Outras etapas do processo de produção de moldes, mereceriam igualmente um estudo mais aprofundado, tais como a etapa de projeto e a etapa de montagem do molde.





## Bibliografia

- Cannas, V. G., Pero, M., Pozzi, R., & Rossi, T. (2018). An empirical application of lean management techniques to support ETO design and production planning. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 134–139. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.247>
- Carvalho, A. N., Oliveira, F., & Scavarda, L. F. (2014). Tactical capacity planning in a real-world ETO industry case: An action Research. *International Journal of Production Economics*, 180, 187–203. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.019>
- CCIP. (2015). MOLDES, UMA INDÚSTRIA VIRADA PARA O FUTURO. Retrieved August 18, 2018, from <https://www.ccip.pt/pt/newsletter-internacional/638-moldes-uma-industria-virada-para-o-futuro>
- CEFAMOL. (2018). Exportações da indústria de moldes batem novo recorde em 2017. Retrieved August 18, 2018, from <https://www.cefamol.pt/index.php?id=16&idn=83>
- Cortes, H., Daaboul, J., Le Duigou, J., & Eynard, B. (2016). Strategic Lean Management: Integration of operational Performance Indicators for strategic Lean management. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.551>
- French, S. (2009). Action research for practising managers. *Journal of Management Development*, 28(3), 187–204. <https://doi.org/10.1108/02621710910939596>
- Gay, C. (2016). 8 Wastes of Lean Manufacturing. Retrieved November 23, 2018, from <https://www.machinemetrics.com/blog/2016/1/24/8-wastes-of-lean-manufacturing>
- Goldratt, E. M. (1990). *What is this thing called THEORY OF CONSTRAINTS and how should it be implemented?* North River Press.
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (1984). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. Book (Vol. 3rd Editio). <https://doi.org/10.2307/3184217>
- Gosling, J., & Naim, M. (2009). Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. *International Journal of Production Economics*, 122, 741–754. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.07.002>
- Hines, P., & Rich, N. (1997). Mapping Tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(1), 46–64. <https://doi.org/10.1108/01443579710157989>
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25, 420–437. Retrieved from [http://ac.els-cdn.com/S0272696306000313/1-s2.0-S0272696306000313-main.pdf?\\_tid=9aa7d238-1578-11e7-b6a6-00000aacb362&acdnat=1490899519\\_46a1200fcbc4c0834f2f07dea3797560](http://ac.els-cdn.com/S0272696306000313/1-s2.0-S0272696306000313-main.pdf?_tid=9aa7d238-1578-11e7-b6a6-00000aacb362&acdnat=1490899519_46a1200fcbc4c0834f2f07dea3797560)
- Ibon Serrano, L., Carlos Ochoa, L., & Rodolfo de Castro, V. (2008). An evaluation of the value stream mapping tool. *Business Process Management Journal*, 14(1), 39–52. <https://doi.org/10.1108/14637150810849391>
- Izmailov, A. (2014). If Your Company is Considering the Theory of Constraints. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 150, 925–929. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.103>
- Koshy, V. (2005). *Action Research for Improving Practice*. *British Journal of Educational Technology* (Vol. 36). <https://doi.org/2004117261>

- Lander, E., Systems, C. L., & Liker, J. K. (2007). International Journal of Production The Toyota Production System and art : making highly customized and creative products the Toyota way, (February 2015). <https://doi.org/10.1080/00207540701223519>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. (McGraw-Hill, Ed.). New York. Retrieved from <https://vietnamwcm.files.wordpress.com/2008/07/mcgraw-hill-thetoyotaway-14managementprinciples.pdf>
- Lubitsh, G., Doyle, C., & Valentine, J. (2005). The impact of theory of constraints (TOC) in an NHS trust. *Journal of Management Development*, 24(2), 116–131. <https://doi.org/10.1108/02621710510579482>
- Mabin, V. J. (2008). The performance of the theory of constraints methodology: Analysis and discussion of successful TOC applications. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(6), 68–595. Retrieved from <http://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/01443570310476636>
- Mahesh C. Gupta. (1995). International Journal of Operations & Production Management. *International Journal of Operations & Production Management*, 15(8), 34–51. <https://doi.org/10.1108/01443571111165839>
- Manzini, M., & Urgo, M. (2015). Makespan estimation of a production process affected by uncertainty: Application on MTO production of NC machine tools. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.10.001>
- Matt, D. T., Dallasega, P., & Rauch, E. (2014). Synchronization of the manufacturing process and on-site installation in ETO companies. *Procedia CIRP*, 17, 457–462. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.058>
- Ni, Q., Feng, W., Yarlagadda, P. K. D. V., & Ming, X. (2007). Business information modeling for process integration in the mold making industry. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23, 195–207. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2005.12.006>
- Olhager, J. (2010). The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management. *Computers in Industry*, 61(9), 863–868. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2010.07.011>
- Pinto, P. (2014). *5 S ' s aplicado ao processo de fabrico de moldes para injeção termoplástica Indústria de Moldes de Azeméis - IMA ( Grupo Simoldes )*. Universidade do Porto.
- Platform, E. T. (2017). European Tooling Industry. Retrieved February 4, 2018, from <http://toolingplatform.manufuturenet.eu/index.php/european-tooling-industry>
- Powell, D., Strandhagen, J. O., Tommelein, I., Ballard, G., & Rossi, M. (2014). A new set of principles for pursuing the lean ideal in engineer-To-order manufacturers. *Procedia CIRP*, 17, 571–576. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.137>
- Reason, P. (2001). Learning and change through action research. *Creative Management*, 182–194.
- Salehi, F., & Yaghtin, A. (2015). Action Research Innovation Cycle: Lean Thinking as a Transformational System. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 181, 293–302. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.891>

- Şimsit, Z. T., Günay, N. S., & Vayvay, Ö. (2014). Theory of Constraints: A Literature Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 150(231), 930–936. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.104>
- Stoekert, M. (2013). *Mold-Making Handbook* (3rd ed.). Ciccinnati: Hanser Publications.
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., & Yang, K. (2015). Int . J . Production Economics Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. *Intern. Journal of Production Economics*, 160, 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.002>
- Vamsi, N. (2013). Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool: A case study from auto components industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(1), 89–116. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/MRR-09-2015-0216>
- Venkataraman, K., Ramnath, B. V., Kumar, V. M., & Elanchezhian, C. (2014). Application of Value Stream Mapping for Reduction of Cycle Time in a Machining Process. *Procedia Materials Science*, 6, 1187–1196. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.192>
- Whitehead, J., & McNiff, J. (2006). *Action Research: Living Theory*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Willner, O., Powell, D., Duchi, A., & Schönsleben, P. (2014). Globally distributed engineering processes: Making the distinction between engineer-To-order and make-To-order. *Procedia CIRP*, 17, 663–668. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.054>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking* (2003rd ed.). New York: Free Press.
- Yang, L. R. (2013). Key practices, manufacturing capability and attainment of manufacturing goals: The perspective of project/engineer-to-order manufacturing. *International Journal of Project Management*, 31(1), 109–125. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.03.005>



Anexos



**Anexo 1 - Determinação da Capacidade disponível, Taxa de paragem e Taxa de Ocupação dos Equipamentos**

Secção	Descrição	Equip.	Horários de ocupação das máquinas	Disponibilidade diária do equipamento	Capacidade disponível	T paragem total	Taxa de paragem	Taxa ocupação
A	Desbaste	5	H1 e H2	16	1952	642,5	32,9%	67,1%
		8	H1 e H2	16	1952	545	27,9%	72,1%
		17	H1 e H2	16	1952	622,5	31,9%	68,1%
B	Galgamento	4	H1	8	976	314,5	32,2%	67,8%
C	Eléctrodos	2	H1 e H2	16	1952	68	3,5%	96,5%
		3	H1 e H2	16	1952	68,1	3,5%	96,5%
		9	H1 e H2	16	1952	35	1,8%	98,2%
D	Acabamento (peças pequenas)	14	H1 e H2	16	1952	185,5	9,5%	90,5%
		15	H1 e H2	16	1952	379	19,4%	80,6%
		69	H1 e H2	16	1952	200,5	10,3%	89,7%
E	Acab. (peças médias)	75	H1 e H2	16	1952	61	3,1%	96,9%
F	Acabamento (peças grandes)	16	H1 e H2	16	1952	430,5	22,1%	77,9%
		70	H1 e H2	16	1952	402	20,6%	79,4%
		74	H1 e H2	16	1952	332	17,0%	83,0%
H	Erosão Penetração	12	H1	8	976	910	93,2%	6,8%
		19	H1	8	976	647	66,3%	33,7%
		20	H1	8	976	658,5	67,5%	32,5%
		73	H1	8	976	291,5	29,9%	70,1%

Horários				
H1	08:00	12:30	13:30	17:00
H2	17:00	01:00		





**Anexo 2 - Registo dos tempos de paragem dos equipamentos – 1º e 2º Trimestre**

<b>Equip.</b>	<b>jan-17</b>	<b>fev-17</b>	<b>mar-17</b>	<b>Total 1ºTrim</b>	<b>abr-17</b>	<b>mai-17</b>	<b>jun-17</b>	<b>Total 2º Trim</b>
<b>M2</b>	7	12,5	0,5	20	5	12	25	42
<b>M3</b>	7	0	4	11	8,6	8	37,5	54,1
<b>M4</b>	75,5	74	41,5	191	8	59	53,5	120,5
<b>M5</b>	114,5	154,5	91	360	67	79,5	128	274,5
<b>M8</b>	81,5	80	87	248,5	67,5	74,5	146,5	288,5
<b>M9</b>	10	15,5	1	26,5	3	0,5	5	8,5
<b>M12</b>	155	140,5	163,5	459	136	168,5	146,5	451
<b>M14</b>	29,5	49	39,5	118	28,5	14,5	24,5	67,5
<b>M15</b>	41,5	53,5	50,5	145,5	69,5	75	49	193,5
<b>M16</b>	91,5	77,5	83	252	58,5	47,5	72,5	178,5
<b>M17</b>	70	145	99,5	314,5	77	110	113	300
<b>M19</b>	108,5	121	57	286,5	44	130	85,5	259,5
<b>M20</b>	123	122	158	403	58	106,5	93,5	258
<b>M69</b>	25,5	53	38	116,5	47,5	15,5	21	84
<b>M70</b>	102	59	103,5	264,5	46	45	46,5	137,5
<b>M73</b>	48	34	0	82	0	72,5	74	146,5
<b>M74</b>	78	49,5	63	190,5	53	47,5	49,5	150
<b>M75</b>	28,5	12	54,5	95	1	11,5	2	14,5
<b>Total Mês</b>	1329,5	1368,5	1284	3982	778,1	1077,5	1173	3028,6



### Anexo 3 - Registo de tempos de paragem e causas associadas (Exemplo do mês de abril)

Equipamento	S14								S15							S16						S17						Total (horas)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27		28	29	30
M2(electrodos)			0	0	0	0	0			0	0	0	0					3	0	0	0			0		0	1	1			5
M3(electrodos)			0	0	6	0	0			0,3	0	0,3	0					1	0,5	0	0,5			0		0	0	0			8,6
M4(Furação)			0	0	0	0	0			0	0	0	0					0	6,5	0	0			0		0	1,5	0			8
M5(DESBASTE)			7,5	7,5	7,5	7,5	7,5			0	1	5	0					2	2	2	0			0		8	5,5	4			67
M8(DESBASTE)			8	8	8	8	8			1	2	4,5	3					2,5	3	2	0			0		2,5	5,5	1,5			67,5
M9(electrodos)			0	0	0	0	0			0	0	0	0					2	0	0	0			1		0	0	0			3
M12(Erosão)			8	8	8	8	8			8	8	8	8					8	8	8	8			8		8	8	8			136
M14(Acab. Peças peq)			1,5	4,5	1,5	0	0			6	6	6	2					0	0	0	0			0		0	0	1			28,5
M15(Acab. Peças peq)			1,5	1,5	2,5	4,5	0			6	7	6	7					3	5,5	3	5,5			2		5,5	1,5	7,5			69,5
M16(Acab. Peças gds)			1	0,5	3	2,5	4			2	1	4	5,5					1,5	4,5	7,5	4			4,5		5	7	1			58,5
M17(DESBASTE)			8	8	8	8	8			8	8	8	1					1	1	4	0			0		1	0	5			77
M19(Erosão)			0	0	0	5	1			0	0	7	8					8	4	5	0			0		0	0	6			44
M20(Erosão)			8	4,5	2	6	0			6	2	0	5					8	2	0	0			5		4	2	3,5			58
M69(Acab. Peças peq)			0,5	0	0	3,5	0			6	7	6	2					0	0	3	0			8		5	1	5,5			47,5
M70(Acab. peças gds)			4	2	2	1,5	1			7,5	4	7	3					4	4	5	1			0		0	0	0			46
M73(Erosão)			0	0	0	0	0			0	0	0	0					0	0	0	0			0		0	0	0			0
M74(Acab. Peças gds)			0	0	0	0	0			1	13	6,5	0					4	2	5,5	2,5					13	4	2			53
M75(Acab. Peças medias)			0	0	1	0	0			0	0	0	0					0	0	0	0			0		0	0	0			1
																															778,1

Avaria	1	0	0	1	2
Manutenção	2	0	2	2	6
Indisponibilidade e do Operador	78,5	124,1	92,5	106,5	401,6
Falta de Trabalho	152,5	99	63	54	368,5



### Anexo 4 - Value Stream Mapping

