



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

Relatório de estágio Ln Moldes

## **Aplicação do Método de Taguchi à injeção de plástico**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia E Gestão Industrial

**Autor**

**Hugo Ricardo Neto Lourenço**

**Orientador**

**Professor Doutor Cristóvão Silva**

**Júri:**

**Presidente** Professor Doutor **Altino de Jesus Roque Loureiro**  
Professor da Universidade de Coimbra

**Vogais** Professor **Pedro Miguel Fernandes Coelho**  
Professor da Universidade de Coimbra

**Orientador** Professor Doutor **Cristóvão Silva**  
Professor da Universidade de Coimbra

**Colaboração Institucional**

---



**Coimbra, Julho, 2014**



“A vitória está reservada para aqueles que estão dispostos a pagar o preço.”

Sun Tzu

Aos meus pais.



## Agradecimentos

Não posso deixar de prestar reconhecimento às seguintes pessoas, pela importância da ajuda que me prestaram não só durante o estágio, mas também durante toda a minha vida académica:

Aos meus pais, um profundo obrigado por me terem sempre transmitido força ao longo desta etapa e por me terem proporcionado a obtenção de ter uma formação superior;

A toda minha família por sempre me ter apoiado;

À Ana que muito me ajudou também durante toda esta etapa;

Aos meus colegas do 2º direito, Pedro Pinto, João Carlos e Pedro Bento pelo espírito de camaradagem e amizade que vivemos nestes últimos anos;

A todos os meus amigos pela amizade transmitida aos longos destes últimos anos;

Ao Sr. Eng.º José Luís por me ter ajudado na realização desta tese;

Ao Sr. Eng.º Luís Graça por me ter recebido no Ln Group;

Ao Sr. Eng.º José Senra por me ter disponibilizado fontes de informação para a realização deste trabalho;

Aos Srs. Pedro Silva e Nuno Gândara, que durante o estágio muito me ensinaram sobre os moldes e sobre a injeção, tendo sido verdadeiros professores dentro da empresa onde estagiei;

Ao Tiago Henriques pela sua disponibilidade em me ajudar e pelas orientações dadas sobre tudo sobre fase experimental;

Ao pessoal da produção do Ln Group que sempre me tratou bem e me ajudou ao longo do estágio;

Ao Professor Doutor Cristóvão Silva pela orientação e apoio que me deu durante todo o processo de elaboração desta tese;

Por fim, mas não menos importante, um obrigado a todos os meus amigos e colegas que partilharam comigo a vida universitária em Coimbra; gostaria aqui de destacar o Rafael Lourenço, o Steve Santos, o André Costa, o Luís Santos e o André Castelhana.



## Resumo

O objectivo deste trabalho é o resumo e a explicação das actividades desenvolvidas pelo aluno durante o estágio curricular. Como complemento ao estágio curricular, foi-lhe proposto um tema teórico relacionado com a actividade na empresa Ln Moldes – Maceira - Leiria. O tema a estudar foi o desenvolvimento de um modelo a seguir e a ser utilizado na área dos testes dos moldes, baseado na metodologia DOE que permita otimizar os parâmetros de injeção de Plástico. Este modelo deve prever teoricamente os defeitos, o comportamento mecânico e dimensional das peças que irão obter-se com a variação dos parâmetros de injeção.

**Palavras-chave:** [Taguchi], [Molde], [Injecção], [Planeamento], [Qualidade].





## **Abstract**

The main objective of this thesis is to resume and enplane the activities that occurred during de internship at Ln Moldes. This can be looked at as a complement to the knowledge learned during the years at the university. The objective of this study is to develop a DOE metedology which could optimize the plastic injection process parameters.

This model should be able to predict the defects caused by the variation of parameters.

**Keywords** [Taguchi], [Mold], [Plastic Injection], [Planning], [Quality].



## Índice

Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tabelas .....	xiii
Simbologia e Siglas .....	xv
Simbologia.....	xv
Siglas .....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. Apresentação do sector dos moldes/plásticos.....	3
2.1. Uma perspectiva histórica.....	3
3. Apresentação do grupo In.....	5
4. MOLDES DE INJECCÃO DE PLÁSTICO.....	7
4.1. O que é um polímero?.....	7
4.2. O que é um molde? .....	7
4.3. Fabricação de um molde .....	9
4.4. Moldação por injeccção de plástico.....	12
4.4.1. Máquinas de injeccção de plástico .....	13
5. METODOLOGIAS UTILIZADAS.....	15
5.1. Filosofias Lean.....	15
5.1.1. 5 S.....	16
5.1.2. Sistemas à prova de erro .....	16
5.1.3. SMED .....	17
5.2. Metodologia Taguchi .....	18
6. Relatório de estágio .....	23
6.1. A importância do planeamento .....	23
6.2. A execução.....	25
6.2.1. O ciclo de injeccção .....	25
6.2.2. Montagem de um molde .....	27
6.2.3. Afição de parâmetros .....	27
6.2.4. Desmontagem de um molde .....	32
6.3. Outras considerações sobre o estágio .....	33
6.3.1. Segurança no trabalho .....	33
6.3.2. Aplicação das filosofias Lean ao estágio.....	33
7. metodologia Taguchi .....	41
8. conclusões.....	51
8.1. Conclusões retiradas do estágio .....	51
8.2. Conclusões sobre o caso de estudo- Metodologia de Taguchi .....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
ANEXO A- PROCESSO DE MONTAGEM DE UM MOLDE.....	59

ANEXO B- PROCESSO DE DESMONTAGEM DE UM MOLDE .....	63
ANEXO C- PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UM MOLDE.....	65
ANEXO D- METODOLOGIA ORIENTADORA DE UM TESTE .....	67
ANEXO E- ESTUDO DE ENCHIMENTO E DE SEGUNDA PRESSÃO .....	69
ANEXO F- ANALISE DE FALHAS E DEFEITOS .....	71
ANEXO G- FERRAMENTAS UTILIZADAS NA MONTAGEM E DESMONTAGEM DE MOLDES .....	75
ANEXO I- TABELA ANOVA.....	77
ANEXO J- MÁQUINAS DE INJEÇÃO.....	79

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Dados comerciais relativos aos moldes .....	4
Figura 2- Ln Moldes .....	5
Figura 3- Molde de injeção .....	8
Figura 4- Zonas moldantes, Bucha e cavidade .....	8
Figura 5-Elementos móveis .....	9
Figura 6- Máquina de injeção .....	13
Figura 7- Grupo injector .....	13
Figura 8- Unidade de fecho .....	14
Figura 9- Função perda.....	20
Figura 10- Ciclo de injeção.....	26
Figura 11- Analise de pareto .....	28
Figura 12- Peças do caso prático .....	42
Figura 13- Gráficos S/N (TC).....	47
Figura 14- Gráficos S/N (Peso) .....	47



---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Processo de desmontagem.....	37
Tabela 2- Processo de montagem .....	38
Tabela 3- DOE.....	42
Tabela 4- Matriz de testes.....	43
Tabela 5- Classificação da qualidade .....	44
Tabela 6- Análise da qualidade .....	45
Tabela 7- ANOVA (TC).....	46
Tabela 8- ANOVA (Peso) .....	47
Tabela 9- Médias (Peso).....	48
Tabela 10- Médias (TC) .....	48
Tabela 11- Tolerâncias aceitáveis.....	53
Tabela 12-Combinações de resultados .....	53





## **SIMBOLOGIA E SIGLAS**

### **Simbologia**

*E* – Módulo de Elasticidade

P- Pressão  $\frac{F}{A}$  (Bar)

F- Newtons (N)

Distancias- milímetros (mm)

Peso- gramas (g)

### **Siglas**

ASTM – American Society for Testing and Materials

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

DOE – Desing of experiments

TC- Tempo de ciclo



## 1. INTRODUÇÃO

Enquadrado no âmbito da conclusão do curso de Engenharia e Gestão Industrial de modo a apresentar uma dissertação para obter o grau de mestre em Engenharia e Gestão Industrial, o aluno Hugo Ricardo Neto Lourenço propôs-se a estágio na empresa Ln Moldes, na localidade de Maceira Lis. A Ln Moldes trabalha em coordenação com uma outra empresa do Grupo, a Ln Plás. Sendo empresas diferentes, mas estando situadas no mesmo edifício, são duas empresas que não podem ser dissociadas uma vez que trabalham em cooperação para o crescimento do grupo empresarial onde estão inseridas. Ambas as empresas fazem parte do grupo Gestmin e são os seus representantes neste sector empresarial. Tal como os nomes indicam a Ln Moldes foca-se na fabricação dos moldes, enquanto a Ln Plás executa tarefas ligadas à injeção e produção de peças em plástico. O estágio teve lugar na empresa Ln Moldes, mas foi na Ln Plás, onde existem as máquinas de injeção, que foi realizada a maior parte das actividades relatadas neste trabalho.

A opção pela realização de um estágio curricular foi tomada com o objectivo de ter uma experiência prática do que é a realidade das empresas de modo a perceber como é que os conhecimentos teóricos aprendidos durante o curso podem ser extrapolados e utilizados efectivamente pelas indústrias no decorrer das suas actividades. Foi sem margem para dúvidas uma decisão correta e apropriada, uma vez que me proporcionou uma aprendizagem prática e um óptimo complemento para os cinco anos de curso. Como o objectivo deste estágio era a aprendizagem prática, ao chegar à Ln Moldes, foi-me proposto pela empresa estagiar na área dos testes aos moldes fabricados, auxiliando as actividades do responsável pelo departamento de testes. Esta decisão foi tomada neste sentido uma vez que, com esta responsabilidade, eu ia estar em contacto com as peças acabadas de produzir, com os seus defeitos e com os moldes acabados e prontos para ir à máquina de injeção. Também aqui, o contacto constante com todas as etapas da fabricação, desde o projecto, à bancada, passando pela erosão entre as demais. O teste era importante para poder começar a ver o que é um molde e como funcionam as indústrias que os produzem. Enquadrado neste tema e na qualidade de estagiário do departamento de

testes, foi-me proposto realizar um estudo para a realização desta tese sobre a variação dos parâmetros de injeção e a sua influência na qualidade das peças. Assim, o primeiro grande objectivo deste estudo será o de aplicar a metodologia de Taguchi à injeção de plástico de modo a encontrar os parâmetros óptimos de injeção. A criação de uma metodologia de trabalho de modo a otimizar e normalizar o processo de testes será também um dos objectivos propostos pela Ln Moldes.

## **2. APRESENTAÇÃO DO SECTOR DOS MOLDES/PLÁSTICOS**

O desenvolvimento dos sectores dos moldes/plásticos, está intimamente ligado à importância que os materiais plásticos têm vindo a assumir nas mais variadas aplicações utilizadas pelas sociedades. Pode mesmo afirmar-se que o desenvolvimento deste sector modificou a própria sociedade contemporânea.

Os materiais plásticos estão, hoje em dia, presentes por toda a parte nas embalagens, na medicina, na indústria automóvel, na base de componentes electrónicos, entre muitas outras aplicações. Como causa deste desenvolvimento, podemos apontar as propriedades únicas que os distinguem dos restantes materiais e que os levam a ser considerados matérias de eleição. A par deste desenvolvimento, os métodos de manufactura e produção de moldes e peças para plástico e de peças de plástico por injeção, também têm sofrido grandes desenvolvimentos e avanços tecnológicos.

### **2.1. Uma perspectiva histórica**

Corria o ano de 1945 quando, na Marinha Grande, uma pequena empresa de moldes para vidros por iniciativa de Aníbal H. Abrantes - que teve uma visão do futuro - produziu o primeiro molde de injeção para a indústria dos plásticos.

A partir deste momento, nas atuais cidades de Marinha Grande e Oliveira de Azeméis, duas terras tradicionalmente industrializadas no sector do vidro, começaram a surgir várias empresas relacionadas com a indústria dos moldes para plástico. Portugal, um país a viver no regime do Estado Novo, necessitou de trazer tecnologia estrangeira de modo a que esta indústria pudesse ser fomentada e desenvolvida. Assim, em 1980, Portugal já exportava moldes para mais de 50 países. A par deste desenvolvimento foram aparecendo algumas indústrias de injeção de plástico, sendo que a fabricação de moldes continua a ser a actividade mais influente neste sector.

Ao longo dos anos, Portugal conseguiu consolidar a sua posição entre os melhores e os maiores produtores mundiais de moldes, sendo que cerca de 90% da sua produção se destina à exportação. Os principais destinos desta exportação são a Alemanha,

a Espanha, os Estados Unidos da América, a França, e o México. Esta posição demonstra não só a capacidade que a indústria portuguesa tem se adaptar às necessidades dos clientes, mas também a capacidade de se desenvolver de modo a assegurar que continua na vanguarda das tecnologias de fabricação e maquinação de moldes.

Actualmente, é um sector muito desenvolvido que oferece garantias de futuro e empregabilidade e acaba por ser uma ajuda à economia portuguesa. Em 2013, a exportação atingiu um valor de cerca de 543 milhões de euros sendo que o valor total de produção foi de cerca de 639 milhões de euros.

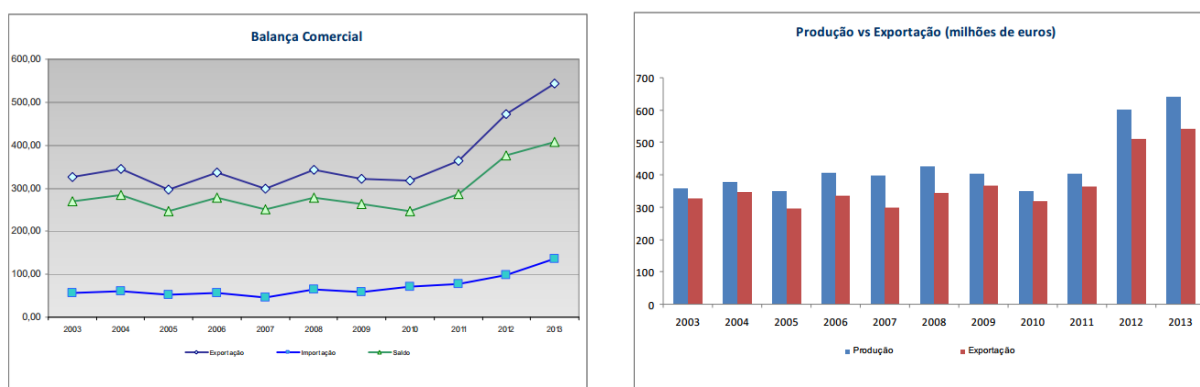


Figura 1- Dados comerciais relativos aos moldes

Da análise dos gráficos acima descritos, podemos concluir que estamos perante um sector em crescimento e que ainda existe bastante espaço para a indústria de injeção de plásticos, uma vez que apenas cerca de 10% dos moldes, são destinados à indústria de injeção portuguesa.

### 3. APRESENTAÇÃO DO GRUPO LN

Tal como já foi anteriormente referido neste trabalho, a Ln Moldes faz parte do Ln Group, que por sua vez é parte integrante do Group Gestmin, que detém negócios e interesses nos mais diversos sectores empresariais. O Ln Group é a junção de 3 empresas que trabalham num sistema de coordenação e cooperação, a Ln Moldes,Lda- Moulds for the Plastic Industry e a Ln Plás, Lda- Plastic solutions. Começando pela primeira, onde tudo se iniciou, a Ln Moldes é uma empresa que se dedica à fabricação de moldes para a indústria de plásticos, que foi fundada em 1983 e está no mercado desde 1988. É uma empresa que utiliza a tecnologia actualmente disponível a par dos seus colaboradores altamente especializados, de modo a obter produtos de elevada qualidade que satisfaçam integralmente as necessidades dos seus clientes. Na produção dos moldes tem procurado a implementação do controlo numérico computadorizado, (CNC) e do equipamento de medição avançado de modo a obter resultados cada vez mais rigorosos. A Ln Moldes tem como especialidades a fabricação de moldes de alta precisão e com múltiplas cavidades com menos de 3 toneladas sendo que, ainda assim, consegue fabricar qualquer tipo de molde, adaptando-se assim às necessidades de cada cliente. Os moldes fabricados têm como grande destinatário o sector da indústria automóvel seguindo-se o sector das indústrias electrónica, farmacêutica e cosmética, entre outros.

Outra empresa deste grupo é a Ln Plás que se dedica à injeção de plástico para a produção de produto acabado. Esta empresa produz peças não só a partir dos moldes fabricados na Ln Moldes, mas também a partir de moldes fabricados por outras empresas de moldes quer portuguesas quer estrangeiras. A Ln Plás apresenta um já considerável volume de produção distribuído por clientes dos mais variados sectores, sendo que o mais predominante é o sector da indústria automóvel. A maioria da produção destina-se, como já disse, à indústria automóvel.

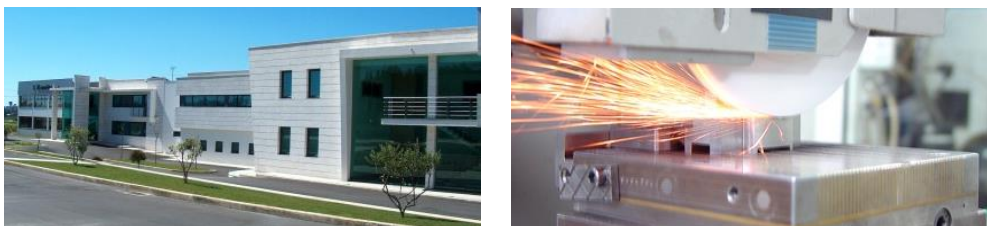


Figura 2- Ln Moldes





## **4. MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO**

### **4.1. O que é um polímero?**

Uma lei básica da mecânica dos fluidos é que todo o líquido adquire a forma do recipiente onde se encontra.

Existem três grandes classes de materiais, os materiais metálicos, os polímeros e os materiais cerâmicos. Um polímero não é mais do que uma sequência longa de hidrocarbonetos ligados entre si por ligações covalentes. Os seus principais constituintes são o Hidrogénio e o Carbono. Como principais características pode-se identificar que são isoladores eléctricos e térmicos, são flexíveis e facilmente deformáveis e possuem baixa resistência mecânica. Mas as duas características que os levam a serem tão utilizados para as mais diversas aplicações são a sua baixa densidade, o que permite a produção de componente de baixo peso e a sua baixa temperatura de amolecimento/fusão. Existem dois tipos de polímero: os naturais (por exemplo o ADN ou o Látex) e os sintéticos. Os sintéticos subdividem-se em 4 classes de polímeros, os Termoplásticos, os Termoendurecíveis, as fibras e os elastómeros. Ao longo deste texto, ir-se-á apenas referir os Termoplásticos pois foi com estes que o autor deste texto trabalhou durante o estágio. Os termoplásticos são materiais que se fundem a uma determinada temperatura, sob acção do calor, podendo ser moldados. Quando se verifica o arrefecimento, as suas moléculas, adquirem as novas posições, a forma do molde. Este ciclo térmico pode ser repetido pois que não se irão verificar grandes perdas das suas propriedades.

Os termoplásticos, quanto à sua estrutura molecular, podem ser cristalinos, ou amorfos.

### **4.2. O que é um molde?**

Um molde é no fundo um conjunto de chapas de aço maquinadas segundo um projecto que, quando juntas, formam um sólido e que se destinam ao processo de injeção. A máquina de injeção, mais particularmente o conjunto injector, injecta a matéria-prima fundida ou amolecida para a cavidade existente no molde, a qual sofre um processo de

plastificação e fica enformada sob a forma da cavidade. Depois, a peça é extraída recorrendo a extractores ou ao sopro de ar.

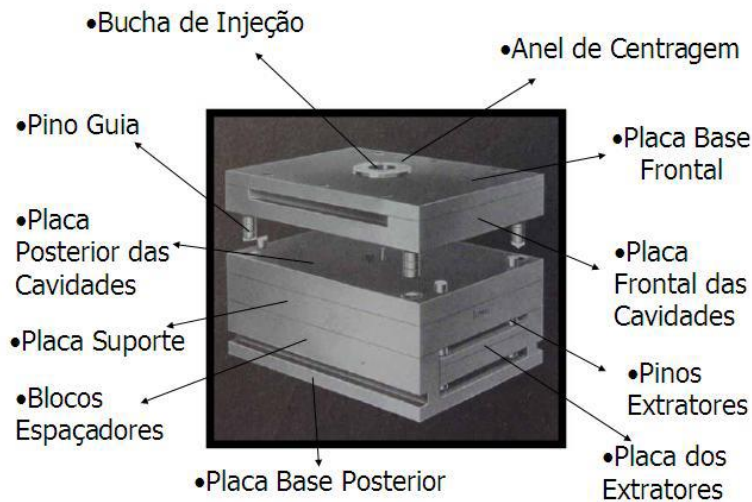


Figura 3- Molde de injeção

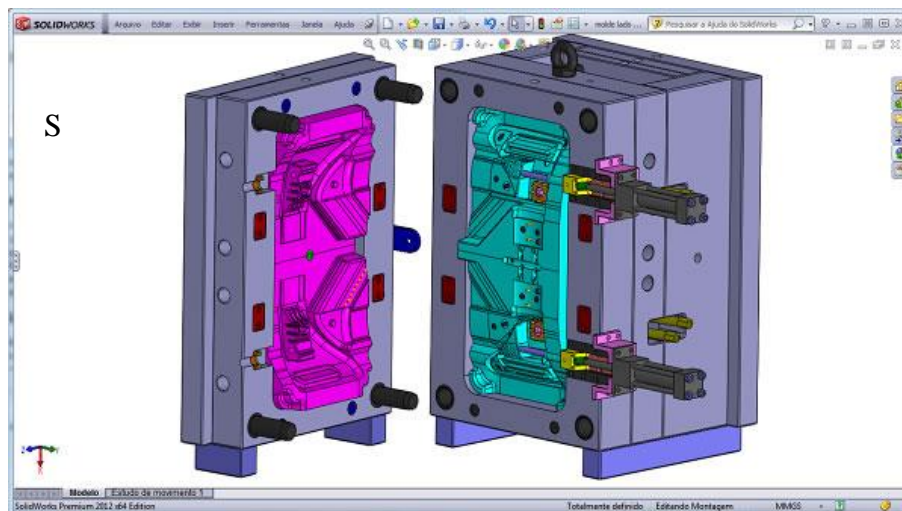
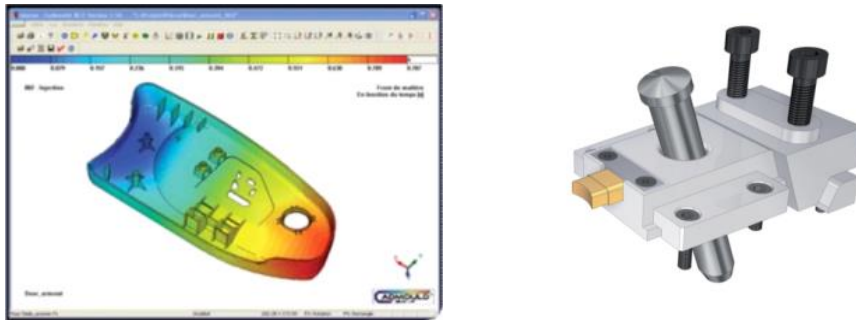


Figura 4- Zonas moldantes, Bucha e cavidade

Do lado esquerdo deste desenho de projecto pode ser identificada a cavidade, e do lado direito a bucha. Facilmente se conseguem identificar os pontos onde se encontram extractores (pontos negros no desenho de cor azul).

No caso da figura não existem elementos móveis, mas repetidamente se recorre a este tipo de solução de modo a ser possível produzir peças que apresentem ângulos

negativos. Ou seja, quando a cavidade e a bucha encaixam, caso não existam elementos móveis apenas se conseguem obter peças com geometria linear. Atente-se por exemplo no caso da figura abaixo:



**Figura 5-Elementos móveis**

Existe um espaço na zona azul (zona com ângulos negativos) que não pode conter plástico, logo necessitaria de aço. Assim, a inclusão de um elemento móvel no projecto é uma solução viável. Na figura 5 vê-se bem como, com a inclusão de uma guia, se consegue obter o posicionamento final correcto para o elemento.

### **4.3. Fabricação de um molde**

A fabricação dos moldes para a produção de peças plásticas é um processo bastante complexo e que abrange bastantes especialidades diferentes que vão desde o desenho técnico dos moldes até à maquinação do aço de modo a dar-lhe a forma desejada. Assim, é importante que se distingam as principais e as diferentes fases de fabricação de um molde. Cada uma destas fases requer conhecimento próprio, formação especializada e planeamento, de modo a que estejam todas articuladas e que as necessidades e especificações do cliente sejam cumpridas.

Em primeira instância, quando o cliente contacta a Ln Moldes para que se fabrique um molde, é atribuído um líder de projecto, o qual tem o dever de planear, acompanhar e verificar constantemente o andamento dos trabalhos ao longo de todo o processo de fabricação do molde.

Entrando o projecto na fábrica, a primeira etapa é a do projecto (CAD) onde os desenhos das várias chapas do molde irão ser desenhados e projectadas. Recorrendo ao software Cimatron, o projecto vai-se desenvolvendo até ser aprovado pelo cliente, momento em que o molde entra na fabricação. Aqui, são planeadas temporalmente todas as

operações de fabricação. Esta é talvez a parte mais crítica pois, seguindo os desenhos projectados pelo CAD (Computer Aided Design), irão ser fabricadas os diversos componentes de um molde. Em paralelo com o CAD, O CAM (Computer Aided Manufacturing) cria os programas que irão funcionar nas máquinas CNC, de modo a trabalhar num processo o mais automático e rigoroso possível. Todas estas operações são executadas através de programas da última geração de software, o CIMATRON e o WORKNC de modo a que a qualidade dos acabamentos sejam os melhores possíveis e o formato o mais rigoroso possível.

Voltando ao processo de fabricação e tocando mais no cerne da questão de como se trabalha o aço de modo a criar os diferentes componentes dos moldes que estão em projecto, existem várias etapas, cada uma das quais utilizando máquinas diferentes, que irão ser enumeradas seguidamente:

- Torno - É uma máquina ferramenta que permite maquinar peças de forma geométrica de revolução. Estas máquinas-ferramentas funcionam fazendo rodar a peça em questão enquanto uma ferramenta de corte é pressionada contra a sua superfície, removendo material, ao qual se dá o nome da limalha.

O torno permite a maquinação dos mais variados componentes mecânicos, pois possibilita a transformação de material bruto em peça de forma e geometria circular. Com a utilização deste equipamento é possível produzir eixos, pinos, qualquer tipo imaginável de roscas e de peças cilíndricas. O torno também pode ser utilizado como máquina de furação. O torno tanto pode ser convencional como CNC para a obtenção de peças com maior precisão.

- Polimento - O Polimento é a operação a realizar com o objectivo dar brilho a uma qualquer superfície. Assim sendo, o polimento, além de levar o molde a produzir peças esteticamente melhores pode ainda destinar-se ao ajuste de peças e à eliminação de pequenas imperfeições. Pode mesmo dizer-se que, no caso dos moldes de precisão, algumas peças por eles produzidas tornam-se não comerciáveis sem polimento.

- Fresadoras- A Fresadora é uma máquina de movimento contínuo que é destinada à maquinação de materiais. Remove pequenas limalhas porque possui uma ferramenta de corte chamada fresa.

---

A operação de fresagem consiste na combinação de movimentos simultâneos da ferramenta e da peça a ser maquinada, simultaneamente. Pode ser uma fresadora convencional ou CNC.

- Rectificação- As Rectificadoras são máquinas altamente especializadas na actividade de rectificar, ou seja, de tornar recto ou exacto. Este tipo de maquinação é posterior ao torneamento e ao fresamento e tem como objectivo um melhor acabamento da superfície. Assim, torna-se óbvio que, para as zonas moldantes, é uma operação vital para que as peças de plástico tenham um bom acabamento superficial. As Rectificadoras podem ser convencionais ou CNC.

- Máquinas CNC- CNC é uma sigla que designa Computer Numeric Control, ou em português, controlo numérico computadorizado. É um tipo de controlo muito utilizado em centro de maquinação de matérias em estado bruto pois os resultados obtidos são de extrema precisão e qualidade de acabamentos. Quando o projecto do molde está concluído, o CAM, cria os programas que vão servir para que o código CNC seja executado.

- Electroerosão - Existem dois tipos de electroerosão, a electroerosão e a erosão a fio.

A electroerosão por descargas eléctricas (EDM) é um processo térmico de remoção de material. Durante o processo, sucessivas descargas de arco eléctrico são geradas por curtos intervalos de tempo entre dois materiais condutores de electricidade (eléctrodo-ferramenta e eléctrodo-peça). O eléctrodo é guiado por um percurso muito próximo da peça sem que, no entanto, exista contacto físico. O eléctrodo vai removendo pequenas quantidades de material à peça que é evaporado e fundido. Normalmente para erodir o aço que constitui os moldes, o cobre é o material mais utilizado.

-Na electroerosão a fio, um fino fio e constituído por um único filamento é introduzido na peça, normalmente submersa num tanque com um fluido dieléctrico. Este processo é utilizado nos moldes para maquinar zonas bastante sensíveis do molde (normalmente para machos de zonas moldantes) onde a precisão é elevada e as dimensões rigorosas, podendo assim obter perfis e formas bastante delicados e complicados. O fio é submetido a uma força de tracção entre as guias superior e inferior no qual está encastrado. Estas guias mover-se-ão conforme as instruções dadas por um CNC. O corte a fio é utilizado quando se pretende reduzir ao máximo o stress residual a que a peça está sujeita, uma vez que este processo não utiliza força no sentido físico da palavra para maquinar as

peças em questão, e acaba por apenas alterar minimamente as propriedades mecânicas do material em questão.

- Bancada - Por fim mas não menos importante, a bancada; é o sítio onde se realizam as actividades relacionadas com a montagem e desmontagem dos componentes de um molde, a afinação e o ajustamento final dos moldes.

Após a montagem final do molde, o mesmo vai a teste tirar peças para enviar ao cliente. Esta é já a etapa final do processo, pois caso o cliente dê o aval positivo às peças, o molde segue para o cliente e o ciclo é assim fechado. Caso as peças não satisfaçam as necessidades do cliente, este envia para a fábrica as informações para que as necessárias alterações sejam feitas no molde. Esta é uma área de grande importância pois, no fundo, é o culminar não só de muito esforço e muitas horas de dedicação ao trabalho, mas também do consumo de recursos materiais que serviram para fabricar o molde. Qualquer empresa que se dedique à fabricação de moldes tem de enviar peças ao cliente para aprovação das mesmas. Assim, torna-se natural que numa região geográfica do país onde o sector dos moldes é importante existam várias empresas que se dediquem apenas a injeção para testes. Aqui, torna-se perceptível a importância desta fase. No entanto, na Ln Moldes, que é uma empresa que goza já de uma dimensão e um estatuto diferentes, os testes de injeção são realizados “na casa”, mais propriamente, na Ln Plás. É nesta fase final de todo o processo que decorreu o estágio do autor deste texto como se atentará mais à frente neste trabalho, sendo que, no momento apropriado, será explicado detalhadamente todo o processo de testes.

#### **4.4. Moldação por injeção de plástico**

A moldação por injeção de plástico é um processo no qual uma matéria-prima plástica no estado sólido, é carregado numa máquina com o objectivo de ser enformado num molde, adquirindo a sua forma final.

O material, após ser colocado na máquina, irá ser aquecido, com o objectivo de amolecer e de ser forçado a fluir para dentro de uma cavidade vazia sob a acção da pressão. Dentro da cavidade, o material vai arrefecer e tomar a forma da cavidade que o circunda. Quando o processo está concluído, extrai-se a peça do lado da bucha, recorrendo-se a extractores ou a ar.

#### 4.4.1. Máquinas de injeção de plástico

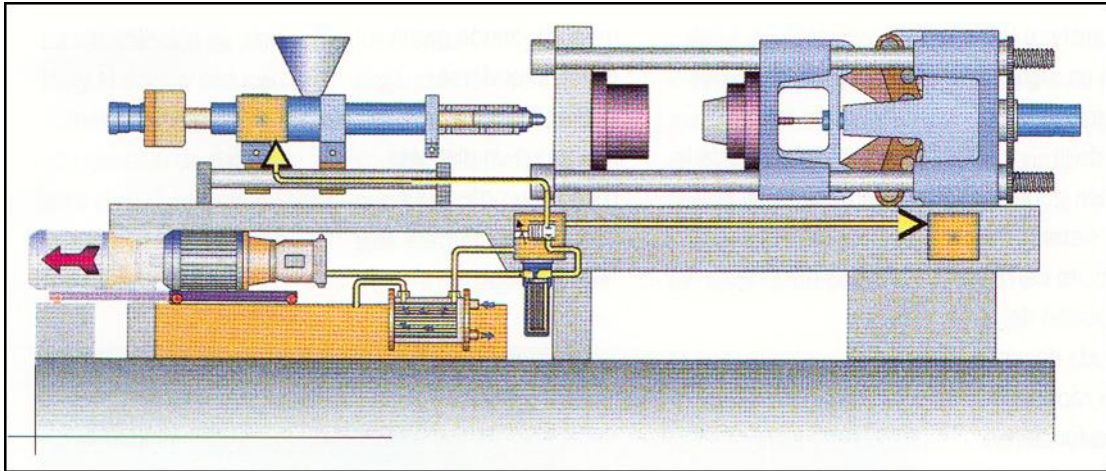


Figura 6- Máquina de injeção

Uma máquina de injeção é o componente que permite que se injecte material amolecido no molde e se produzam os produtos finais. Analisando desenhos de máquinas, verifica-se que estas podem ser divididas em duas partes. Uma parte contém o grupo injector, ou carro injector e a outra parte tem o nome de unidade de fecho, onde o molde se encontra fixo; é aqui que a máquina, ao fechar, exerce a sua força de fecho (em KN). No **anexo J** encontram-se diversos exemplos de várias máquinas de diversas tonelagens.

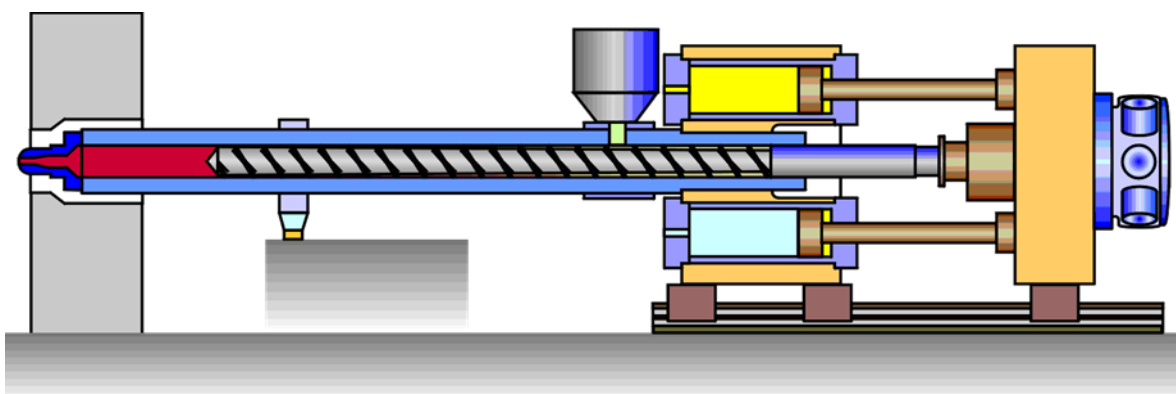
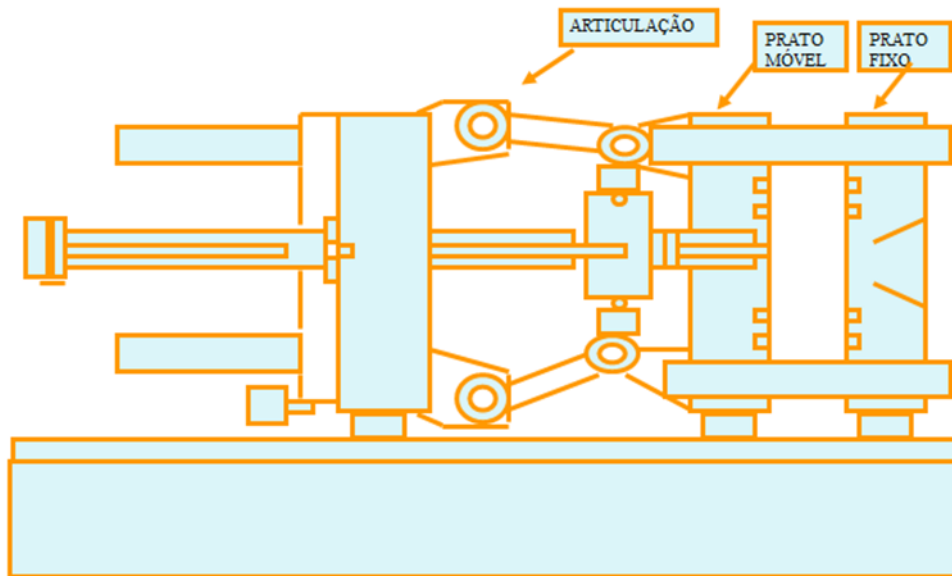


Figura 7- Grupo injector

A figura mostra um grupo injector movido por um pistão hidráulico que faz com que o fuso avance ou recue. A matéria-prima deve ser inserida na tremonha (1), pois a

partir daí fluirá para a injectora. Esta deve possuir no mínimo 3 zonas de aquecimento, antes de o material chegar ao bico, onde será forçado para dentro do molde.



**Figura 8- Unidade de fecho**

Na figura, verifica-se uma unidade de fecho do tipo Joalheira. No entanto também existem unidades de fecho que funcionam com um pistão hidráulico. A cavidade do molde estará acoplada ao prato fixo, enquanto a bucha, estará acoplada ao prato móvel da unidade de fecho.



## 5. METODOLOGIAS UTILIZADAS

Neste capítulo irão ser descritas as metodologias que foram utilizadas durante o estágio e na elaboração desta tese. Assim sendo, está dividido em duas partes: uma sobre a aplicação dos conteúdos e conceitos adquiridos ao longo do curso de Engenharia e Gestão Industrial da FCTUC à tarefa a desempenhar durante o estágio e a outra sobre os conceitos utilizados na elaboração da tese, no que diz respeito à parte do problema a investigar.

Durante o estágio, o autor deste trabalho foi sendo exposto e introduzido à utilização das filosofias *Lean* no local de trabalho. Para a elaboração do último capítulo deste texto, a metodologia de Taguchi foi a aplicada a um caso de estudo.

### 5.1. Filosofias Lean

As filosofias *Lean* tiveram a sua origem no Japão depois da 2ª Grande Guerra, como forma de transformar uma economia, decadente e em grandes dificuldades, numa economia forte e competitiva, podendo assim competir com as indústrias norte americana e europeia. Assim, a Toyota, percussora neste tipo de pensamento, verificou que a maneira de poder criar essas condições competitivas seria a de conseguir volumes de produção variados e com baixo custo.

O *Lean* é uma forma de gestão que abomina os desperdícios procurando identificá-los e eliminá-los através da melhoria dos fluxos entre os processos que acrescentam valor ao produto final. É importante aqui definir o que é o desperdício. Este pode ser a sobreprodução, ou seja, produzir demais ou demasiado cedo, existindo assim a necessidade da criação de stocks. Desperdício é a produção de qualquer peça defeituosa e também todas as operações desnecessárias ou demasiado complexas que são efectuadas entre postos de trabalho ou durante o processamento de materiais.

No fundo, o valor é um conceito que é definido pelos clientes, e o *Lean* valoriza as actividades que criam esse valor tentando minimizar o impacto das actividades que não criam valor (quando estas não podem ser eliminadas). As actividades que criam valor são todas as que estão relacionadas com a transformação de matérias-primas, logística, embalagem e processamento. A empresa onde decorreu o estágio, o grupo Ln, já

trabalha com as filosofias *Lean* implementadas, sendo que o departamento de testes também segue as mesmas regras que o pessoal da produção. Assim, as principais ferramentas *Lean* a que o autor desta tese foi sujeito foram os 5 S e o trabalho com ferramentas e mecanismos com sistemas à prova de erro. Para o estudo efectuado neste trabalho, vai ainda recorrer-se ao SMED.

### **5.1.1. 5 S**

5 S Organização do posto de trabalho - Esta é normalmente a primeira etapa para uma empresa que pretende obter um estado de qualidade total. Trata da organização e limpeza do local de trabalho ao longo do tempo. A implementação de um sistema 5 S visa criar um local de trabalho mais organizado, limpo e seguro, assegurando assim um melhor ambiente no posto de trabalho e, conseqüentemente, um aumento de produtividade. Os fundamentos do 5 S são:

1. Seiri- selecção. Seleccionar os equipamentos e as ferramentas úteis ao trabalho a praticar em cada posto de trabalho e eliminar tudo o que é desnecessário.
2. Seiton- organização. Ter os materiais e ferramentas organizados de modo a que, quando são necessárias, se saiba onde estão e se garanta um fácil acesso às mesmas. Também está relacionado com a organização do trabalho, estando dependente do fluxo de informação que circula dentro da empresa. É necessário que a cada posto de trabalho cheguem as informações necessárias.
3. Seiso- limpeza. Manter o local de trabalho limpo e estar constantemente a limpar e a cuidar das pequenas sujidades.
4. Seiketsu- normalização. Conservar o desempenho dos S, padronizando-os.
5. Shitsuke- disciplina. Disciplina para manter os S em funcionamento e adoptar uma postura de melhoria contínua.

### **5.1.2. Sistemas à prova de erro**

São sistemas anti-erro, que servem para simplificar o trabalho e eliminar os desperdícios através de potenciais erros humanos que possam ser cometidos durante os processos.

### 5.1.3. SMED

SMED (Single Minute Exchange of Die) – O estudo do SMED pretende reduzir os tempos de mudança das ferramentas. Ou seja, pretende reduzir o tempo das actividades que não acrescentam valor ao produto e até mesmo eliminar qualquer actividade desnecessária. Por outras palavras, define-se como tempo de *setup* o tempo que demora uma mudança de ferramenta, ou seja, retirar e instalar a nova ferramenta até que seja produzida a primeira peça sem defeitos. Para se realizar uma análise SMED, segundo Shingo, deve-se separar as actividades internas das actividades externas. Assim, pode-se definir actividades internas como as actividades que podem apenas ser desempenhadas quando a máquina está parada, e actividades externas como as actividades que podem decorrer quando a máquina está a funcionar ou a produzir.

Para que uma análise SMED possa ser realizada, há que seguir uma metodologia já existente que assenta em 5 etapas.

1. Observar e analisar como as actividades em questão são realizadas. Compreender as operações realizadas e reunir dados sobre as mesmas.
2. Separar actividades internas das externas.
3. Converter actividades internas em externas; a ideia será a de conseguir executar o maior número possível de actividades com o equipamento ainda em funcionamento.
4. Simplificar e otimizar as actividades internas; simplificar métodos de fixação das ferramentas e padronizar as operações de modo a simplificá-las. Pode-se tentar trabalhar com 2 operadores de modo a poder exercer actividades internas em paralelo.
5. Simplificar e otimizar as actividades externas; ter todos os materiais e itens necessários junto das máquinas quando o trabalho começa e coordenar actividades de modo a conseguir realizar a actividade X à hora Y com os operadores Z e com as ferramentas S.

Cada caso é um caso; o importante é conseguir compreender as operações realizadas, e conseguir enquadrá-las nesta metodologia.

## 5.2. Metodologia Taguchi

Enquadrado no que foi anteriormente referido, na breve introdução às filosofias *Lean*, a metodologia Taguchi é, no fundo, mais uma ferramenta para que a qualidade do produto final possa ser melhorada, minimizando os desperdícios.

Actualmente, a procura da qualidade máxima nas empresas é não só uma necessidade mas também um requisito, uma vez que a conjuntura actual de mercado exige que apenas os melhores sejam bem-sucedidos. Esta melhoria contínua da qualidade está intimamente ligada com a redução de custos e a eliminação dos desperdícios. Inserido nesta temática, a metodologia Taguchi foi desenvolvida pelo Dr. Genichi Taguchi, um engenheiro, e estatístico japonês que foi mundialmente reconhecido pelos seus estudos na área da qualidade.

A metodologia Taguchi é apelidada de DOE, design of experiments, ou em português, planeamento de experiências. O DOE baseia-se na realização de uma experiência prática, fazendo diversos ensaios, variando os parâmetros de entrada, de modo a que se obtenha uma matriz de resultados para os diferentes valores de entrada. Após a obtenção dos resultados, há que realizar diversas operações matemáticas e estatísticas de modo a obter resultados e retirar conclusões.

Esta nova maneira de ver a qualidade nasceu quando o Dr. Genichi Taguchi reparou que eram consumidos demasiados recursos nas áreas dos testes porque os sistemas de testes utilizados, não estavam nem sistematizados nem existia uma boa organização de trabalho. Com vista a otimizar os métodos e reduzir os custos (relembre-se que existem muitos custos associados às áreas dos testes, por exemplo: as horas de trabalho, a electricidade consumida pelas máquinas, as matérias-primas, o atraso de entrega dos produtos aos cliente, entre outros.) o Dr. Taguchi foi desenvolvendo as suas ideias, o que resultou na criação do DOE.

O DOE é um método que se baseia no planeamento de experiências. É necessário planear a experiência e classificar os parâmetros e os resultados obtidos. Segundo o próprio Taguchi, é um método de Of Line Control, uma vez que ocorre fora da linha de produção. É aqui que o método ganha virtude, uma vez que o planeamento de experiências requer um estudo e um conhecimento prévio do que se vai testar, de modo a

saber fazer as variações dos parâmetros de entrada; Taguchi não realiza todas as experiências possíveis com todas as combinações de parâmetros, realizando apenas algumas de acordo com o que é requerido pelo próprio problema e tratando os resultados obtidos estatisticamente. Assim, consegue-se diminuir o tempo total das experiências não sendo necessário consumir tantos recursos para a obtenção de resultados. No fundo, procede-se à escolha de  $n$  factores com  $m$  níveis cada um para poder realizar uma experiência e obter diferentes resultados para cada ensaio com diferente  $n$  e  $m$ .

A metodologia geral a utilizar quando se pretender realizar estudos ou testes segundo um DOE compreende 3 passos, segundo Taguchi:

1. Desenho do sistema- Pretende-se com esta fase compreender o problema em estudo, a tecnologia utilizada e os custos associados ao produto.
2. Desenho paramétrico- Esta fase tem como objectivo melhorar o desempenho do produto, minimizando a variabilidade dos resultados e optimizando os parâmetros.
3. Desenho de tolerâncias- Esta fase pretende a realização de uma análise às tolerâncias do sistema de modo a reduzir a variação. Aqui, verifica-se que com tolerâncias mais apertadas, a variabilidade do processo será reduzida e a qualidade aumentada. É necessário ter em mente as consequências económicas de se ter tolerâncias mais apertadas.

Taguchi divide os factores a estudar em dois grupos: os factores que são definidos pelo produtor e não podem ser alterados pelo consumidor e os que são definidos pelo consumidor e nos quais este tem influência. Ainda existem os chamados factores de ruído, sobre o qual o produtor não consegue ter controlo. Fontes de ruído externas, internas e ruído relacionado com o produto. Os primeiros estão relacionados com a temperatura ambiente e a humidade entre outros factores ambientais. Os segundos estão relacionados com alterações que ocorrem no produto quando este se degrada por estar embalado ou por causa do desgaste das máquinas. O terceiro, também pode ser chamado de ruído unidade a unidade, uma vez que se deve às variações ocorridas em cada unidade com as variações dos parâmetros de entrada.

Taguchi prevê ainda uma função perda que reflecte o desejo dos consumidores terem produtos produzidos de uma maneira mais robusta e o desejo dos produtores de

produzirem mais, com qualidade a menores preços, minimizando, assim, os gastos e as perdas para a sociedade.

$$L = k(y - m)^2 \quad \text{(Equação 1)}$$

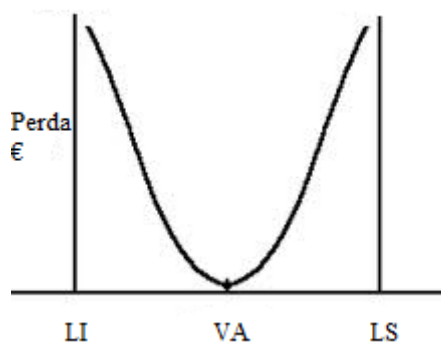


Figura 9- Função perda

O gráfico acima demonstra a necessidade de produzir low cost, mas com qualidade pois, abaixo de um determinado valor, a sociedade não consumirá o produto por achar que é demasiado barato para ter alguma qualidade. Do mesmo modo, acima do limite superior, o produto mesmo que tenha qualidade, não será consumido por ser muito caro. Assim, surge o objectivo desta metodologia: encontrar valores-limite aceitáveis para a produção de um determinado produto.

Na equação 1  $L$  é a perda associada a valor particular  $y$ .  $m$  é o valor nominal da especificação.  $k$  é uma constante que depende do custo associado aos valores das tolerâncias limite incumbidas ao projecto.

Taguchi sugere uma metodologia para a realização das experiências, no entanto, cada caso de estudo é um caso e cada empresa produz produtos com métodos diferenciados.

Uma metodologia base foi proposta por diversos autores que trabalharam nas filosofias criadas por Taguchi. Os passos para apresentar um projecto robusto e um estudo aceitável estão descritos imediatamente a seguir.

- Passo 1. Ter um problema para resolver. A compreensão do problema bem como de todas as especificidades que o compõem é essencial de modo a que se possa planear e estruturar a experiência a realizar. É necessário ter ainda consciência de que o problema pode apresentar várias soluções.

- Passo 2. Determinar e indicar o objectivo da experiência. Aqui é importante indicar as variáveis de saída e definir o que se espera desses mesmos resultados. É importante saber como medir a performance dos resultados.
- Passo 3. Identificar os factores que se espera que influenciem os resultados finais. O ideal seria questionar e contactar com pessoal experiente com o produto em causa ou ligado ao sector em estudo. Deve-se procurar identificar o maior número possível de factores.
- Passo 4. Efectuar uma análise aos factores escolhidos e à sua influência no produto final e seleccionar os que se prevê que sejam mais importantes. Separar em factores de ruído e de controlo.
- Passo 5. Determinar o número de níveis a testar e os valores a serem utilizados em cada nível por cada factor. Assim, determina-se também o número de graus de liberdade inerente a cada factor. É recomendável que, numa primeira fase, sejam testados mais factores com menos graus de liberdade cada um, para que o projecto seja mais preciso. Numa segunda fase experimental, deve reduzir-se o número de factores, restringindo-se apenas aos que maior influência têm, aumentando assim os graus de liberdade.
- Passo 6. Identificar as interacções entre factores. As interacções aumentam os graus de liberdade de um problema, tornando-o mais complexo.
- Passo 7. Desenhar o grafo que representa os factores a controlar e as suas interacções. Seguidamente, desenhar a matriz ortogonal que representa as experiências práticas.
- Passo 8. Realizar a experiência prática e obter resultados.
- Passo 9. Analisar os resultados, obtendo os rácios sinal/ruído e a tabela ANOVA. Obter gráficos que ajudem a encontrar os factores/parâmetros mais significativos e confirmem as análises efectuadas.

Passo 10. Seleccionar os níveis que mais influenciam os factores. Os factores com maior influência são os que devem ser controlados; os que pouca influência têm, podem ter um nível que reduza ao máximo os custos. Efectuar um estudo de tolerâncias aceitáveis caso seja requisito do projecto.

Passo 11. Realizar um ensaio experimental que confirme que estes factores e níveis são os mais indicados de acordo com o produto e com os resultados que se espera obter. Casos os resultados não estejam de acordo com o esperado, deve-se voltar ao passo 3 e voltar a seguir a metodologia indicada. Neste caso, deve começar-se por alterar ou os factores escolhidos ou os valores atribuídos aos níveis em cada factor.

Consegue-se agora verificar que o objectivo deste método é minimizar a variabilidade de um produto, identificando maneiras e soluções para lhe conferir uma maior robustez e reduzir custos para o produtor e para a própria sociedade. Com a redução da variabilidade, com a determinação dos factores que realmente têm grande influência na qualidade final do produto e com a obtenção de um processo que produz um menor número de peças defeituosas, consegue obter-se uma redução dos custos associados à manufactura do produto.



## **6. RELATÓRIO DE ESTÁGIO**

Tal como já foi anteriormente referido neste trabalho, o processo de fabricação de um molde divide-se em 3 grandes fatias: o projecto, a fabricação propriamente dita e o teste ao molde. O estágio a que o autor desta tese se propôs foi realizado na fase dos testes de injeção; o aluno, enquanto estagiário, simultaneamente prestava auxílio ao técnico de injeção da Ln Moldes e acompanhava e compreendia, ao longo do tempo, todos os processos e operações realizados de modo a que este departamento esteja organizado e a funcionar articuladamente com os restantes departamentos e fases da fabricação. Os trabalhos a realizar por este departamento são os mais variados, desde a organização e gestão do stock de material até ao estudo e ajuste dos parâmetros de injeção de modo a obter peças com o menor número de defeitos possível.

No texto que se segue, irão ser descritas não só as actividades realizadas durante o estágio, mas também os processos necessários para que ocorra a realização dos testes de injeção.

### **6.1. A importância do planeamento**

Neste departamento, a filosofia de trabalho é baseada no ciclo PDCA, o Plan, Do, Check, Act, ou seja, tenta-se planificar o trabalho de modo a que, quando as tarefas forem executadas, estejam reunidas todas as condições para que o trabalho comece no dia e hora programados e que não falem ferramentas nem material necessários (seja ele qual for, matérias-primas, molde, parafusos, entre outros) para que a tarefa seja executada com sucesso e com o mínimo de custos possível. Esta metodologia de trabalho possibilita a detecção de erros de fabricação e a sua rápida resolução de modo a prosseguir com a ordem normal dos trabalhos. Assim sendo, o planeamento assume um destaque fulcral para o bom funcionamento do departamento de testes. O planeamento dos testes e a gestão dos stocks de material para testes têm de estar em harmonia com as datas e o planeamento da fabricação e devem ser supervisionados pelos líderes de projecto, uma vez que são eles quem lideram as operações e ajustam as datas. Estes têm um papel fulcral, pois devem

acompanhar constantemente os seus moldes desde o projecto até ao final do processo, altura em que o molde é despachado da fábrica para o cliente. Estas operações só podem ser feitas com sucesso se a informação passar correctamente entre as várias partes da empresa, desde o projecto à fabricação, passando pelos outros sectores. Caso as informações não passem correctamente, está-se a arriscar o não cumprimento de prazos e o atraso de todo o planeamento posterior.

Começando pelo início, sendo que o pessoal da fabricação trabalha de acordo com um planeamento, sabe-se sempre quais os dias ou qual o intervalo de dias em que um molde ou moldes estarão prontos. Assim, os líderes de projecto, no final da semana anterior, informam o departamento de testes, quais os testes que vão ser realizados na semana seguinte. Esta informação deve conter algum conteúdo específico, nomeadamente a data do teste, o número do molde (designação/referência atribuída ao molde quando o projecto se inicia na fábrica, exemplo:1892), o material a injectar, a quantidade de moldações, o objectivo do teste e a tonelagem da máquina. Este último parâmetro é talvez dos mais importantes uma vez que é fulcral para uma decisão na atribuição das máquinas a utilizar. Quaisquer outras informações acerca do molde que sejam pertinentes para facilitar o trabalho do injector também devem ser referenciadas aquando da marcação do teste. Assim, no departamento de testes consegue planificar-se a agenda dos testes e informar a Ln Plás do número de testes a realizar na semana seguinte. Deste modo, a Ln Plás assegura que existam máquinas de injeção dedicadas aos testes da Ln Moldes. É extremamente importante que este processo seja executado no tempo previsto, de modo a que o responsável da Ln Plás possa reservar as máquinas para a Ln Moldes nos dias previstos e que o director de produção da Ln Plás possa ajustar a produção para as máquinas que tem disponíveis. Um bom planeamento é sempre importante pois o material a ser injectado tem de estar estufado e cada material tem um tempo e temperatura diferentes de permanência na estufa. É importante referir que o número de estufas disponíveis para os testes também é limitado. Assim, só é possível ter o material pronto a meter na máquina se houver um planeamento prévio. Com a passagem de informação correta e um planeamento eficazes, consegue obter-se uma boa harmonia entre a produção da Ln Plás e os testes da Ln Moldes: além de se obterem bons resultados a nível operacional que resultam do envio de peças para os clientes no tempo previsto, detectam-se também atempadamente defeitos nas

---

peças e é possível a posterior correcção dos moldes. No anexo C, encontra-se uma descrição do processo de construção de um molde.

## **6.2. A execução**

Continuando com o que foi anteriormente referenciado neste trabalho, partindo de um bom planeamento conseguem articular-se bem as operações e criar condições para um bom ritmo e ambiente de trabalho. Assim, quando um teste está requerido, o departamento de testes não tem senão que realizá-lo. Assim, caso o molde esteja montado e armazenado no armazém de moldes, é colocado na máquina para tirar peças. A operação de ir buscar um molde e montá-lo na máquina pode ser algo delicada, uma vez que se pode transportar moldes com um peso compreendido entre 100 quilogramas e 3 toneladas. Uma vez que os moldes são transportados com a ajuda de pontes rolantes onde são enganchados para serem deslocados, é necessário ter algum cuidado na sua movimentação de modo a evitar acidentes no local de trabalho. É de extrema importância frisar esta questão da segurança, pois um peso de 1, 2 toneladas a ser transportado e a oscilar no ar sobre o efeito do seu próprio peso pode causar graves danos materiais ou mesmo lesar fisicamente os trabalhadores. Após a colocação do molde na máquina de injeção, efectua-se a montagem do mesmo dentro da máquina, efectua-se o ajustamento dos parâmetros de injeção e começa-se a tirar peças. Como já se sabe previamente o número de peças a produzir, então procede-se à sua produção e à sua entrega ao líder de projecto para que ele as despache para o cliente. Este processo irá ser descrito pormenorizadamente mais à frente.

### **6.2.1. O ciclo de injeção**

Não seria possível descrever as actividades e os estudos efectuados ao longo do estágio na Ln Moldes sem antes introduzir este conceito de ciclo de injeção.

Pode assim definir-se um ciclo de injeção, que permite a produção de grandes séries de produtos. Este ciclo e mais informações acerca da injeção de plástico serão referidas e analisadas mais à frente, ao longo do subcapítulo 6.2.3. O passo 5 requereu uma explicação mais aprofundada devido aos conceitos menos explícitos nele referidos.

1. Fecho do molde, parâmetro- força de fecho (KN)
2. Avanço do grupo injector (mm)
3. Injecção, é onde é dada a primeira pressão, parâmetros- 1º pressão (Bar), velocidade de enchimento(mm/s), RPM do fuso e almofada (mm).
4. Pressão de recalque ou de compactação, parâmetro- 2ª pressão(Bar).
5. Dosagem e recuo do canhão(também conhecido como descompressão), e plastificação. Esta descompressão não é mais que uma pressão que se opõe ao retorno do fuso durante a dosagem do material. Esta pressão é uma forma de consolidar a massa fundida expulsando o ar, garantindo assim a uniformidade do volume a injectar. É importante referir ainda que após o processo de plastificação, para evitar a acumulação de material no bico, recua-se um pouco o fuso, provocando a sucção da massa fundida.
6. Abertura do molde.
7. Extracção das peças produzidas, recorrendo a extractores ou ar.
8. Reinício do ciclo.

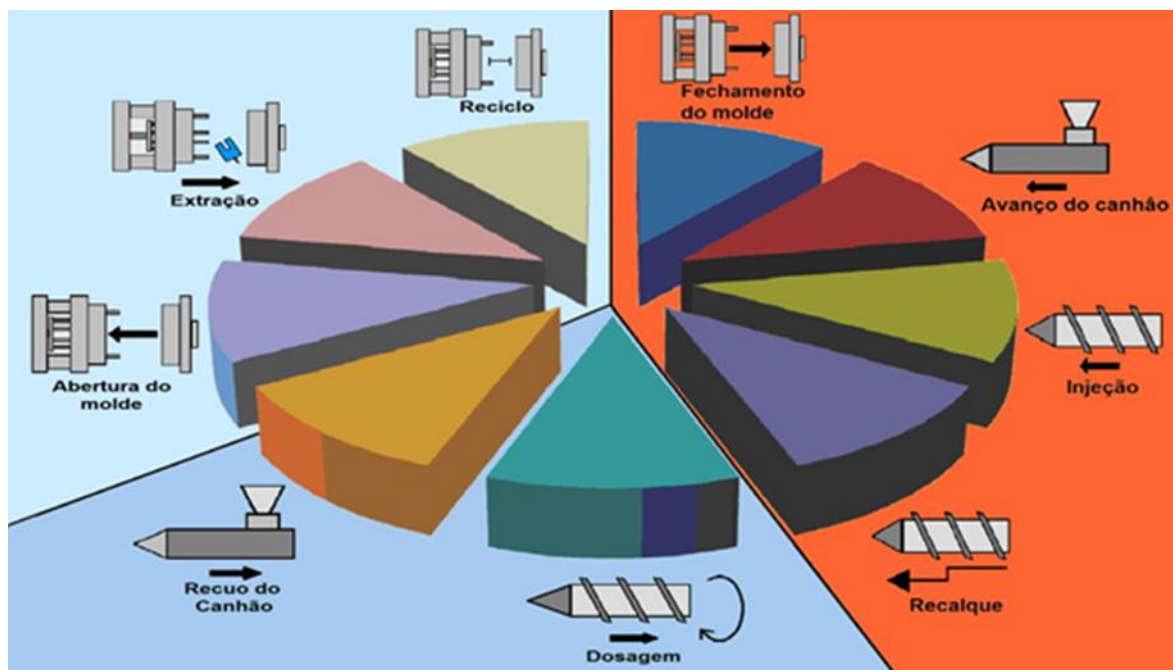


Figura 10- Ciclo de injeção

### **6.2.2. Montagem de um molde**

Neste excerto do texto, irá ser descrito o processo de montagem do molde na máquina desde que o molde é tirado do armazém até ao momento em que o molde se encontra pronto para produzir.

Em primeiro lugar é necessário ter conhecimento da máquina atribuída ao teste. Partindo do princípio que todo o planeamento é efectuado com sucesso e a máquina está livre para ser executado o teste, a primeira tarefa é ir procurar o molde ao armazém.

Um requisito necessário para a montagem do molde é saber a altura do molde e saber se a máquina é compatível, uma vez que todas as máquinas têm uma altura mínima e máxima para os moldes que podem ser montados nas mesmas. O ideal seria, no planeamento, já ter a informação de todos os dados de modo a que se possam atribuir as máquinas correctas sem que ocorram percalços posteriores.

O processo de montagem está descrito no **anexo A**.

Após a conclusão do processo, quando o molde estiver com as águas e os bicos quentes, está apto a produzir.

Esta metodologia serve para a montagem da generalidade dos moldes, no entanto não se pode adoptar como regra inviolável, servindo mais como linhas de orientação para melhorar a organização do trabalho. No departamento de testes, chegam-se a testar por vezes 3 ou 4 moldes por dia, sendo que todos os dias se testam moldes diferentes, logo é necessário fazer a adaptação desta metodologia ao molde em teste. Um bom exemplo de como esta metodologia tem de ser versátil, é o caso de um molde em que os recordes apenas são montados por baixo do molde. Assim, é mais simples para o técnico de injeção montar os recordes e efectuar as ligações antes de colocar o molde na máquina.

### **6.2.3. Afinação de parâmetros**

Com o molde na máquina pronto a injectar material e a produzir moldações, é de extrema importância conseguir obter um conjunto de parâmetros que produzam peças o mais perfeitas possível de modo a minimizar os defeitos inerentes à injeção de plástico. Assim sendo, existe um conjunto de parâmetros de injeção que devem ser ajustados de modo a produzir peças com qualidade. No anexo D encontra-se descrita a metodologia necessária à realização de um teste.

Existe um conjunto de vários parâmetros a controlar na máquina. Tal como podemos atentar na figura A, pode ser realizada uma análise de pareto, um pequeno conjunto de parâmetros tem uma grande influência no acabamento das peças produzidas.

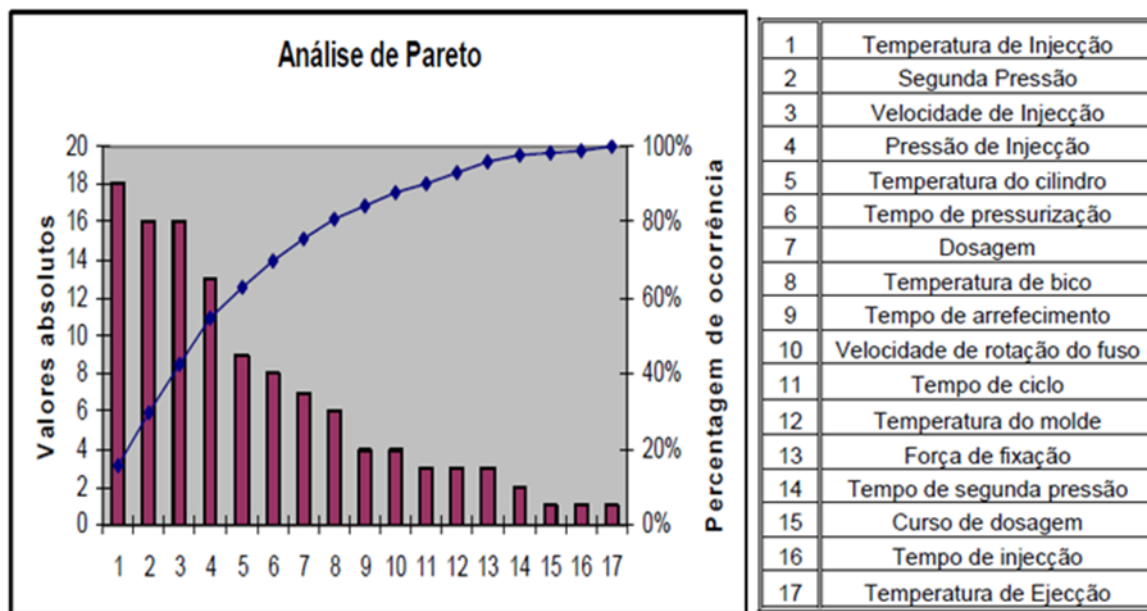


Figura 11- Analise de pareto

Normalmente esta é a influência dos parâmetros controláveis na máquina na qualidade das peças. No entanto, dependendo do molde (das características da cavidade, do número de cavidades, do tipo de material a injectar), o efeito dos parâmetros pode ser outro. Salvo muito raras excepções, a qualidade dos produtos depende sempre mais de uns parâmetros do que de outros. Concluída esta introdução e feita esta referência aos parâmetros controláveis na máquina, pode passar-se às descrições e análise dos mesmos de acordo com a experiência aprendida durante o estágio.

O primeiro parâmetro que se deve verificar quando o molde está na máquina, pronto a produzir, é a força de fecho: tem de existir uma força de fecho exercida pelos pratos da máquina suficiente, de modo a que ambas as partes do molde, a bucha e a cavidade estejam juntas. É um parâmetro importante pois, caso as duas partes do molde não estejam completamente pressionadas, o material fundido não irá seguir o caminho que deve e vai escorrer para fora das zonas moldantes podendo dar origem a rebarbas.

---

Segundo uma simples fórmula pode ser calculada a força de fecho do molde,  $F = P \cdot S$ , onde  $P$  é o valor máximo de pressão que o material pode suportar e  $S$  é a área projectada para a peça e canais de injeção.

Passada a questão do fecho do molde e assumindo que o molde está correctamente fechado, tem que se injectar o material. Assim sendo, existirão dois caminhos a seguir quando se fala da pressão de enchimento que também é conhecida como 1ª pressão. De modo a que se obtenham bons resultados a nível de qualidade das peças, deve-se injectar 90%-10%, ou seja, 90% do enchimento da peça deve ser realizado aquando da primeira pressão, enquanto os restantes 10% são dados na pressão de compactação. Sabe-se agora a pressão de enchimento para encher 90% da cavidade, pelo que se pode começar a dar a segunda pressão ao processo. Esta segunda pressão ou pressão de compactação, tal como indica o nome vem compactar o enchimento da peça, de modo a que o plástico derretido dentro do molde fique justo nas zonas moldantes, obtendo assim bons resultados em termos de qualidade. É de referir que a maioria dos defeitos está relacionada com a 2ª pressão devido à compactação insuficiente. Caso o molde nunca tenha ido a teste, será necessário encontrar o valor correcto da primeira pressão. Se o molde já tiver sido submetido a um teste anteriormente, basta verificar o valor do último teste e ajustá-lo à máquina em que o teste se está a realizar. É importante aqui injectar com valores baixos a primeira injeção só para verificar se o molde está bem fechado e se não há canais de enchimento atrofiados. Deste modo assegura-se o que anteriormente foi dito evitando espalhar material plástico pelas linhas de junta caso não esteja tudo bem para trabalhar.

Caso seja a primeira vez que o molde vai a teste, deve ser realizado o estudo de enchimento e de 2ª pressão. O estudo de enchimento não é mais do que o enchimento gradual das peças até aos 90%. Ou seja, serão produzidas moldações, aumentando gradualmente a quantidade de material injectado e a pressão de injeção até que se obtenha um bom enchimento de 90% do volume total da peça. No caso do estudo de enchimento, é importante referir que a pressão de injeção é um parâmetro importantíssimo pois é no fundo a força que faz o material fluir e ocupar as zonas moldantes formando as peças nas formas finais. Após obter um enchimento de 90% do volume da peça, deve-se começar a dar a pressão de compactação para que esta fique com um bom acabamento. Este processo é o chamado estudo da 2ª pressão. Para ajustar este parâmetro, há que ter em conta dois

factores: a pressão e o tempo em que a pressão é exercida. Assim, para encontrar peças com a qualidade e dimensões desejadas, vai ter de se variar estes dois parâmetros, combinando-os entre si, até obter peças consistentes. Para efectuar este estudo, deve-se aumentar a segunda pressão, e variar também o tempo de modo a encontrar peças, completamente cheias e com bom acabamento. Ao requerer à máquina pressão a mais, é possível que comecem a aparecer peças defeituosas, onde os defeitos mais prováveis de encontrar, são rebarbas, e defeitos no ponto de injeção.

No **anexo C** está descrito e exemplificado um estudo de enchimento e um estudo da 2ª pressão. Caso o molde já tenha ido a teste, basta ajustar os parâmetros á nova máquina de teste (pode variar o diâmetro do fuso e a tonelagem) até obter peças que o gestor de projecto valide, e iniciar as produções. Neste ajuste de parâmetros, é importante verificar os mais importantes e saber relacioná-los de modo a obter peças com qualidade. O desafio aqui está em conseguir minimizar o tempo de ajuste de parâmetros até se obter a 1ª peça com boa qualidade.

Além dos que já foram anteriormente referidos, também existem outros parâmetros igualmente importantes como a velocidade de injeção (mm/s) que resulta da rotação do fuso (RPM), que é importante para o bom enchimento das peças pois determina a quantidade de material que é injectado. Inversamente proporcional, o tempo de injeção está relacionado com a velocidade de injeção, menos tempo, mais velocidade. No entanto são requeridos algum cuidado e uma análise ao molde, pois se a velocidade for demasiado lenta ou demasiado rápida, podem notar-se defeitos no acabamento final de peças. Neste caso, os defeitos mais comuns são as linhas de fluxo estarem visíveis devidos à dificuldade de escoamento do material pelo molde. Outro defeito bastante comum relacionado com a velocidade de rotação do fuso é o mau escoamento dos gases. Os gases, mesmo sendo residuais, resultantes do aquecimento da matéria-prima e até do próprio ar que se encontra na cavidade do molde, escoam a frente do líquido; no entanto, se a velocidade de injeção for muito elevada, os gases podem ficar misturados com o plástico amolecido, e comprometer a qualidade das peças.

A temperatura do cilindro é um factor fulcral para o processo de injeção, uma vez que tem de estar à temperatura requerida para fundir o material plástico. Esta temperatura é facilmente conhecida consultando os datasheets dos materiais em questão. A acompanhar esta temperatura, a temperatura dos bicos (quando os há) é também um



---

parâmetro a ter em consideração, uma vez que mantém os canais por onde o material flui a uma temperatura que permita o seu escoamento. Aqui existe uma noção básica: quanto maior for a temperatura (até ao limite superior que o material aguenta), melhor e mais rapidamente fruirá o plástico pelos canais de injeção o que poderá ser uma solução para obter peças com melhor acabamento. No entanto, o material demasiado quente também pode criar defeitos nas peças.

É importante controlar o tempo de arrefecimento e a temperatura do molde (quer cavidade, quer bucha) uma vez que vão ser responsáveis pela textura final e pela dimensão finais das peças. É bastante importante pois as quotas das peças variam na ordem das milésimas com a temperatura do molde e com o tempo de arrefecimento. São duas variáveis independentes, mas que têm uma acção conjunta para as dimensões finais das peças e para o seu acabamento. Estes parâmetros normalmente vêm discriminados nas datasheets dos materiais. O tempo de arrefecimento pode ser calculado segundo a seguinte formula,  $t=d(1+2d)$  onde  $d$  é a espessura máxima das paredes. Para temperaturas superiores a 70°C a fórmula deve sofrer um incremento de 30%.

Um outro factor importante a controlar é a chamada almofada que é a quantidade de material que fica no cilindro por injectar. O objectivo principal da almofada é evitar que o fuso não choque com a ponta do cilindro. No entanto, a máquina mostra o valor da almofada e, efectuando uma análise desse valor, consegue-se verificar se o material suficiente foi injectado. Pode ser classificado como um parâmetro de controlo.

Alguns cuidados são importantes para garantir a boa qualidade das peças finais. Por exemplo, o material não deve estar mais de 3 minutos no fuso sob risco de se “queimar”, perdendo assim propriedades importantes, uma vez que no fuso a altas temperaturas, os polímeros se degradam bastante. O material também não deve estar tempo a mais a estufar além daquele que é recomendado.

Todos estes parâmetros e o seu ajuste permitem a obtenção de peças aceitáveis; no entanto, é recorrente encontrar defeitos em peças durante as sucessivas injeções sendo necessário recorrer ao ajuste de parâmetros na máquina, de modo a eliminar os defeitos. Este é o grande desafio: conseguir eliminar os defeitos com o ajuste de parâmetros sem que o molde tenha de ir novamente à bancada. Por vezes não é possível, mas devem efectuar-se todas as tentativas para evitar que o molde volte à bancada. Os defeitos mais comuns são: a existência de rebarba (1) que não é mais do que excesso de material que flui pela linha de

junta para fora do molde; a produção de moldações incompletas (2); Queimaduras nas peças, ou seja, alterações de cor localizadas (3); Vazios nas peças, devido à entrada de ar (4); Chupados, que são marcas superficiais devido a contracção excessiva (5); Moldação partida ou com defeito causado pela extracção (6); Linhas de soldadura demasiado marcadas (7); Acabamentos superficiais não uniformes, ou seja, mais brilho numas zonas que noutras (8); Má homogeneidade da cor (9); Moldação fica presa no molde (10). Assim, no **anexo F**, estão demonstrados os defeitos mais comuns e que mais vezes apareceram em moldes nos testes e como se consegue retirar os defeitos à peça. Apenas se encontram indicadas soluções para retirar os defeitos ajustando os parâmetros controláveis pela máquina. No entanto, por vezes, encontram-se casos em que o molde tem de ir à fabricação para se resolver esses defeitos.

#### **6.2.4. Desmontagem de um molde**

Após estar concluída a produção é necessário desmontar o molde da máquina e arrumar o mesmo no armazém dos moldes. O processo de desmontagem de um molde está descrito no **anexo B**.

Após o passo final da metodologia proposta, fica concluído um conjunto de operações que constituem um teste: montagem, afinação dos parâmetros, produção, desmontagem e arrumação final. O posto de trabalho que pode ser considerado como a área ao redor da máquina utilizada deve ser mantido constantemente limpo durante todas as operações. No final do teste é importante deixar tudo limpo e arrumado para que se continue tudo da mesma maneira como foi encontrado.

Após a conclusão dos trabalhos, é necessário entregar as peças produzidas ao líder de projecto uma vez que ele tem o dever de as etiquetar e enviar para o cliente.

Além das peças requeridas pelo cliente, o moldador deve sempre guardar alguns conjuntos de peças e gitos para si, de modo a provar o seu trabalho caso algum erro aconteça durante o processo de envio das peças ao cliente. O moldador também tem sempre de tirar algumas peças a mais para que o líder de projecto fique com provas e peças para efectuar as suas medições e os seus testes.

No **anexo G**, encontra-se a indicação das ferramentas utilizadas para executar as tarefas de montagem e desmontagem de moldes em máquinas durante o estágio.

---

Em suma, o planeamento é de extrema importância de modo a que se articulem todas as fases dos testes, estufa, montagem do molde e produção de peças, e para que se tenha informação antecipada sobre a existência de material em stock suficiente e disponível para efectuar os testes a realizar.

### **6.3. Outras considerações sobre o estágio**

Neste sub-capítulo serão referenciadas algumas considerações adicionais sobre o trabalho desenvolvido durante o estágio no Ln Group. Essas referências passam pela introdução às filosofias *Lean* no local de trabalho e pela aplicação de algumas regras de higiene e segurança no trabalho.

#### **6.3.1. Segurança no trabalho**

A empresa onde decorreu o estágio, a Ln Moldes e a Ln Plás têm grandes preocupações com a segurança no trabalho. É política da empresa que todos os trabalhadores utilizem alguns equipamentos de protecção tais como botas de biqueira de aço e luvas para trabalhar com os moldes em teste. Durante o estágio foram identificados alguns comportamentos de risco, os quais devem ser evitados: um bom exemplo é a subida às máquinas de injeção para atestar as tremonhas de material sendo, no entanto, sempre obrigatória a utilização de escadotes quando é necessário subir a algum lado. Uma outra actividade de risco é o transporte de moldes para os colocar nas máquinas: sempre que possível, os moldes devem ser transportados a uma altura o mais baixo possível e nunca à altura da cabeça de modo a evitar acidentes graves. O transporte de moldes via pontes rolantes deve ser realizado com o maior cuidado possível. Estão assim, aqui, explicitados alguns exemplos de como é importante prevenir a segurança no trabalho.

#### **6.3.2. Aplicação das filosofias Lean ao estágio**

##### **6.3.2.1. Sistema à prova de erro**

Os sistemas à prova de erro, tal como já foi anteriormente referido, existem de modo a tentar evitar erros de produção e são uma ferramenta importante para a melhoria

contínua tendo em vista a procura da qualidade total. Durante o estágio existiu algum contacto com estes sistemas que possibilitaram uma melhor compreensão de como as máquinas reagem aos erros e como se consegue criar sistemas anti-erro robustos que não só evitem a produção de peças defeituosas para as séries em produção, mas também evitem que as máquinas e robots (que requerem elevados investimentos) sejam danificados por qualquer factor externo ou interno ao processo.

Referindo exemplos concretos, as próprias máquinas de injeção apresentam diversos sistemas de segurança. Por exemplo, na consola onde se inserem os parâmetros de injeção, a própria máquina limita os valores que podem ser dados, deixando inserir apenas uma gama de dados que consegue ler e que não a irão danificar. Outro bom exemplo é o de que a máquina nunca fecha se estiver com a extracção adiantada, evitando assim a danificação das zonas moldantes e elevados prejuízos para os clientes. Um outro exemplo ainda, são as ligações entre os carburadores e os aparelhos de modo que não se efectuem mal as ligações e se sobrecarreguem os aparelhos ou os carburadores - as fichas são standardizadas e sabe-se sempre o que e como ligar. Assim, a ficha das potências do lado do aparelho é sempre macho e a das sondas é sempre fêmea.

#### **6.3.2.2. 5 S**

A necessidade da manutenção do posto de trabalho limpo e organizado não é uma simples formalidade mas uma exigência imposta de modo a aumentar a produtividade e o bem-estar dos outros. Na actividade de montagem e desmontagem de moldes, é importante manter as ferramentas organizadas e arrumadas e saber por antecipação as necessidades do molde. Deste modo, consegue-se realizar organizadamente um trabalho que de outra maneira podia levar a uma total desorganização e ao caos do posto de trabalho. Por exemplo, a selecção antecipada de uma série de ferramentas, tais como chaves de fendas, de sextavada e alicates de pressão. Assim, evita-se a deslocação sucessiva para ir buscar uma e outra ferramenta e a desorganização de várias ferramentas ao mesmo tempo. Depois de o molde estar montado, deve-se arrumar as ferramentas no carrinho, no local certo. Deve-se tentar manter o mínimo possível de ferramentas desarrumadas e fora de local.

Também durante a montagem/desmontagem do molde, principalmente das ligações das mangueiras e dos aparelhos, existe uma probabilidade alta de sujar o chão ou de inundar mesmo pequenas secções em volta da máquina. É recomendado estar sempre

---

atento a estas situações e actuar imediatamente na origem, desligando logo as torneiras gerais da água e confirmar se as ligações estão bem feitas. Após o problema estar resolvido, há que limpar o chão inundado, recorrendo a materiais destinados à limpeza por exemplo, uma esfregona ou uma máquina de limpeza do chão. É extremamente importante este ponto da limpeza pois, na Ln Plás, os trabalhadores estão constantemente em movimento e, não só existe o perigo de alguém escorregar e ter um acidente de trabalho, como também pode pisar uma poça de água e sujar todo o chão da fábrica.

Em suma, deve procurar-se ao máximo a limpeza e a organização do local de trabalho de modo a que os intervenientes trabalhem num meio mais sóbrio e limpo e que todos os outros que os rodeiam sintam também a limpeza e a necessidade de manter tudo limpo e organizado. Claro que estes princípios partem de cada um, mas, se todos os trabalhadores cumprirem as suas obrigações em relação aos 5S, consegue ter-se sempre um bom ambiente de trabalho, agradável, limpo, organizado e mais saudável.

#### **6.3.2.3. SMED**

Ao longo do estágio foram vários os dias em que estavam planeados testes de 3 e 4 moldes para cada dia. É importante deixar bem referido que não se consegue antecipadamente calcular de forma exacta o tempo que um molde leva a ser testado porque cada molde é um molde. Existem muitas variáveis que podem fazer com que um molde demore mais ou menos tempo a produzir as séries que são pedidas. Por exemplo, o tempo de ciclo necessário para produzir uma peça pode ser muito longo, podem ocorrer erros com a extracção ou injeção com canais quentes e as peças ficam presas e o molde fecha com as peças por extrair e pára. Estes são exemplos de erros que muitas vezes constituem um problema e dilatam bastante o tempo de duração dos testes. No departamento de testes, este tipo de erros acontece quase diariamente uma vez que muitos dos moldes ainda não estão a 100% para a produção de grandes séries. Assim sendo, o tempo tem de ser ganho na troca de moldes, onde se podem obter poupanças de tempo consideráveis.

Partindo deste princípio foi realizada uma análise SMED ao processo de mudança de molde ou seja uma análise de uma actividade que não acrescenta valor ao produto (neste caso o produto é o mold, e o teste é uma etapa complementar da fabricação). Com esta análise pretende-se aferir as actividades que levam mais tempo a ser executadas e analisá-las de modo a que os tempos de *setup* possam ser reduzidos. Procura-se, assim, encontrar estratégias de modo a reduzir o tempo total desde que um molde pára a produção

até à produção da primeira peça boa. Há que lembrar que cada molde é um molde e as mesmas actividades em diferentes moldes podem levar a diferentes tempos de *setup* por actividade. Aqui também parte da própria pessoa que monta o molde e da sua experiência e do tempo que cada aparelho de aquecimento demora até estar operacional.

Para o estudo em causa, irá ser considerada a desmontagem de um molde e a montagem de outro logo de seguida, situação muitas vezes verificada durante o estágio. No departamento de testes já se encontra implementada a optimização dos tempos de *setup*, pelo que este caso prático não é mais do que um estudo adicional e uma confirmação ao que já é feito na prática. Talvez o processo não esteja ainda completamente optimizado e padronizado, mas trabalha-se no sentido de se atingir esse objectivo.

No **anexo A** e **B** estão discriminadas as actividades de montagem e desmontagem de um molde. Foram seleccionados dois casos de estudo de modo a que possa ser realizada uma análise SMED e que possam ser retiradas conclusões acerca do processo. Foram seleccionados para a montagem dois moldes com tamanhos diferentes, com um grau de complexidade diferente e diferente número de cavidades. Fica bem expressa esta diferença de complexidade no tempo de montagem. Quanto ao tempo de desmontagem, acaba por ser sensivelmente o mesmo.

Para o Caso 1:

Desmontagem,  $T_{total}=27.95$ ; Montagem,  $T_{total}=46.75$ ;  $T_{total}=74.7$  Minutos

Para o Caso 2:

Desmontagem,  $T_{total}=30.4$ ; Montagem,  $T_{total}=86.3$ ;  $T_{total}=116.7$  Minutos

Assim sendo, podem identificar-se as actividades críticas que são as de maior complexidade e as que apresentam um maior tempo de processamento.

Observando os resultados dos tempos discriminados por actividade, facilmente se observa que as actividades mais críticas do processo de desmontagem são:

- (8) Retirar o molde da máquina- inclui as actividades retirar as barras de fixação do molde, retirar o KO e o anel de centragem.
- (5) Soprar as águas- há que pegar nas pontas do circuito de águas e, de um lado ligar ao recipiente que acumula as águas (Bobby) e do outro à pistola do ar.

- (4) Baixar temperaturas dos circuitos das águas- o tempo que este processo demora a ser realizado, não depende do esforço humano pois depende da capacidade do aparelho em arrefecer o circuito. Naturalmente, circuitos maiores e mais complexos levaram mais tempo a ser arrefecidos.

Actividades críticas no processo de montagem:

- (7) Ajuste de paramentos- alteração de parâmetros na máquina até à produção da primeira peça aprovada.
- (1) Montagem do molde na máquina.
- (3) Montar os circuitos de água- depende sempre das quantidades de mangueira que são necessárias. Normalmente aproveitam-se as mangueiras do molde anteriormente desmontado, no entanto, por vezes é necessário ir ao armazém buscar mais ou mangueiras de diferentes tamanhos.
- (4) Aquecimento dos circuitos de água e do carburador/Bicos- depende da capacidade de aquecimento do carburador e termorregulador da água.

Pode-se agora efectuar elaborar um quadro com todas as actividades que constituem um processo de mudança de molde.

Processo de Desmontagem	
Actividades internas	Actividades externas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixar temperatura das águas</li> <li>• Soprar águas</li> <li>• Passar óleo</li> <li>• Limpar fuso com PP</li> <li>• Tirar molde fora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ir buscar carrinho de transporte</li> <li>• Ir buscar a ponte</li> <li>• Ir buscar o “Bobby”</li> <li>• Arrumar molde no armazém</li> </ul>

**Tabela 1- Processo de desmontagem**

Processo de Montagem	
Actividades internas	Actividades externas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montar molde na máquina</li> <li>• Seleccionar e montar haste e KO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ir buscar molde</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montar os circuitos de águas</li> <li>• Aquecer as águas</li> <li>• Montar as ligações do carburador ao aparelho de aquecimento</li> <li>• Aquecer o carburador</li> <li>• Ajustar parâmetros de injeção</li> </ul>	
--	--

**Tabela 2- Processo de montagem**

No departamento de testes da Ln Moldes já se tenta, sempre que possível, otimizar o tempo; daí que quando se efectua uma operação de mudança de molde, tenta-se sempre ter todas as ferramentas necessárias disponíveis e organizadas de modo a facilitar o trabalho.

Analisando as actividades internas e conjugando com as actividades consideradas críticas, consegue-se efectuar uma análise sobre as mesmas. Consegue-se detectar algumas pequenas actividades internas que, sendo convertidas em externas, se poderão obter algumas pequenas poupanças de tempo.

Actividades como ir buscar o molde e preparar as ferramentas, que são puramente externas já estão a ser efectuadas enquanto a máquina ainda está em funcionamento. Deve-se ir buscar as mangueiras e aparelhos de aquecimento (caso seja necessário, pois o molde a desmontar pode não conter mangueiras suficientes) enquanto a máquina ainda está ainda em funcionamento. Estas são as soluções simples e directas existentes. Em suma, o pessoal dos testes da Ln Moldes já trabalha de uma forma optimizada.

No entanto existem ainda possibilidades de melhoria se forem utilizados sistemas mais optimizados. Na montagem dos circuitos, pode-se utilizar sistemas de multa acopladores ou seja, os circuitos e as mangueiras já estão fabricados e montados por defeito e o operador apenas tem de efectuar duas ligações, as de entrada e saída. Esta solução, além poupar tempo, acaba por melhorar o processo pois diminui a probabilidade da ocorrência de fugas. Neste caso, para cada circuito requerido pelo projecto (por exemplo circuitos diferente para a cavidade, a bucha e os elementos) será necessário uma placa acopladora.

Um outro sistema que diminui os tempos de setup é a utilização de uma ponte magnética em vez de uma ponte rolante normal. A EAS criou um dispositivo que utiliza a



força magnética para transportar peças metálicas. Deixam de ser necessárias as operações de procura de olhais e enroscamento dos mesmos. Conseguem transportar moldes até aos 2000 kg o que é uma desvantagem; no entanto, a Ln Moldes produz moldes de pequena dimensão. No entanto este tipo de ponte requer um elevado investimento pelo que seria demasiado dispendioso remodelar os sistemas de pontes existentes. Será, no entanto, uma boa hipótese a considerar caso se dimensione uma nova unidade de produção.

Uma última nota informativa em relação à importância da diminuição dos tempos de setup é de que se se extrapolar este processo para a produção, onde também regularmente ocorrem mudanças de moldes, consegue-se ter uma produção mais ágil, e uma melhor capacidade de resposta às necessidades impostas pelos clientes.



## 7. METODOLOGIA TAGUCHI

De acordo com o que foi referido ao longo deste texto e tal como o nome do capítulo indica, ir-se-á abordar o ponto fulcral deste trabalho - a utilização da metodologia Taguchi de modo a encontrar as condições óptimas da realização de testes de injeção em moldes. Para a realização de experiência segundo a filosofia DoE, foi planeada uma experiência que contemplava as etapas descritas na tabela que segue.

Fase	Descrição	Objectivos.
1	Definição de um objectivo para o estudo a realizar	Reduzir custos. Reduzir a Variabilidade. Obtenção de peças com qualidade.
2	Conhecimento do molde Escolha das características a testar	Escolha de características mensuráveis em resultados numéricos. Evitar interacções entre factores.
3	Análise do molde, e escolha dos factores	Consultar orientador da experiência. Obter informação sobre o material a injectar (datasheet). Definir os valores para os parâmetros em cada nível.
4	Criação da matriz ortogonal	Base em experiências já efectuadas. Determinação dos graus de liberdade de cada factor.
5	Realização de experiência	Definir o número de peças injectadas até à estabilização dos parâmetros da máquina. Guardar as peças e efectuar análise de qualidade, e de peso.
6	Tratamento dos resultados	Análise Normalizada Análise da variância. Análise da relação sinal/ruído.

		Estimação dos resultados e obtenção das condições óptimas.
7	Confirmação dos parâmetros	Injectar peças utilizando os parâmetros obtidos.

Tabela 3- DOE

Tendo esta experiência sido realizada com o objectivo da redução de custos, pretende-se que a função perca, já descrita anteriormente, seja minimizada. O molde onde foi realizada a experiência produz uma pequena peça (figura 12). Tal como já foi descrito anteriormente neste trabalho existem parâmetros de injeção que são bem mais influentes que outros para o acabamento e para a qualidade das peças produzidas. Com base no estudo do molde, na peça que este vai produzir e com a orientação do Sr. Tiago Henriques foram definidos os parâmetros que mais podiam influenciar a qualidade das peças finais. Estes parâmetros são a Temperatura de Trabalho do material, o valor da Segunda Pressão, o Tempo da Segunda Pressão, a Velocidade de Injecção, o Tempo de Injecção e o Tempo de Arrefecimento. Tal como está já referido no capítulo anterior, a primeira pressão é obviamente fulcral que esteja bem definida e tenha um valor correcto, mas foi excluída deste estudo como parâmetro, uma vez que encontrado o valor de primeira pressão que enche 90% da peça, pela experiência aprendida não se deve voltar a mexer nesse valor. Assim, estando encontrado o enchimento, volta-se a atenção para o ajuste de parâmetros que influenciam o acabamento e a qualidade das peças. Para os parâmetros escolhidos, já estão descritas e justificadas as alterações que estes podem produzir, no capítulo 6.



Figura 12- Peças do caso prático

Fazendo variar estas variáveis de entrada em vários níveis, obtém-se vários valores para as variáveis de saída, o peso das peças, o tempo de ciclo das peças e a percentagem de defeitos. O peso é um resultado importante pois permite a realização de uma análise sobre a distribuição dos vários pesos, obtendo resultados estatísticos sobre o enchimento das peças. Esta análise ao peso tem, como objectivo verificar a variabilidade e robustez do processo uma vez que a dispersão dos valores de peso irá transmitir essa informação. O tempo de ciclo é talvez o resultado mais importante, uma vez que é o que permite a realização de um estudo sobre a redução de custos. Neste caso, o molde regista tempos de ciclo bastante altos, o que pode ser pouco competitivo e pouco vantajoso uma vez que se pretende obter peças ao menor custo possível. Tampas para substituir rolhas de cortiça em garrafas de vinho têm de ter um custo unitário mesmo muito reduzido para que possam ser uma alternativa viável às rolhas de cortiça. Os resultados obtidos quanto aos defeitos também são importantes uma vez que se chega ao ponto em que existem defeitos que inviabilizam a utilização das peças no mercado.

De acordo com o Doe não se realizam todas as combinações possíveis de experiências, realizando apenas algumas previamente seleccionadas. Assim sendo, no caso em estudo, 5 parâmetros a 3 níveis cada um, ir-se-ia obter uma matriz L125.  $5 \times 5 \times 5 = 125$  combinações possíveis de factores. Obter-se-á uma L18, em que os valores dos parâmetros irão variar de forma aleatória tal como se pode visualizar na tabela abaixo.

	A	B	C	D	E
Ensaio	T	2ª pressão	Tempo de injeção(mm/s)	T 2ª	T arrefecimento
1	190	70	1.5	30	40
2	190	70	3	35	46
3	190	95	4.5	40	52
4	190	95	3	30	46
5	190	115	4.5	35	52
6	190	115	1.5	40	40
7	205	70	4.5	30	52
8	205	70	1.5	35	40
9	205	95	3	40	46
10	205	95	3	40	52
11	205	115	1.5	30	46
12	205	115	4.5	40	40
13	220	70	1.5	30	46
14	220	70	4.5	35	40
15	220	95	3	40	52
16	220	95	1.5	30	40
17	220	115	3	35	52
18	220	115	4.5	40	46

**Tabela 4- Matriz de testes**

O factor A, como é a temperatura de trabalho, ou seja, é no fundo a temperatura a que o cilindro, o carburador e os canais quentes se encontram, logo, é o factor mais difícil de modificar pois requer o aquecimento do cilindro da máquina e o consumo de recursos para o aquecimento da mesma. Assim, foi o factor que se manteve estável durante a maior parte do tempo. Os outros factores foram alterados na consola de comando da máquina, pelo que bastava alterar os seus valores na máquina. A tabela 2 mostra a variação das variáveis de entrada, que vão produzir umas variações nas variáveis de saída, ou seja, vão influenciar os resultados obtidos, de modo a que estes variem.

Para uma análise dos resultados, foram recolhidos 3 tipos de dados para cada ensaio realizado: o peso da peça injectada, o tempo de ciclo e foi realizada uma análise de qualidade em relação a três parâmetros - a rebarba, o formato das peças e se está ou não de acordo com as dimensões e o formato requeridos e sobre o ponto de injeção. O ponto de injeção é talvez a variável mais crítica, uma vez que é esta que apresenta uma maior variabilidade de resultados. Devido às propriedades do molde e do material, o ponto de injeção é o defeito mais comum e o de maior importância. Foi realizada uma análise de qualidade as peças, onde foram atribuídas notas aos defeitos tal como é indicado na tabela 3, abaixo.

Análise de qualidade	
Classificação	Aceita/Rejeita
1	Sem defeito-peça aceitável
2	Com um pequeno defeito-peça aceitável
3	Peça rejeitada

**Tabela 5- Classificação da qualidade**

Assim sendo, obtemos os seguintes resultados após a realização da experiência

Ensaio	TC	Peso	Qualidade				
			Ponto Injecção	Rebarba	Formato	soma	
1		103	29.605	1	1	2	4
2		106	30.25	2	1	1	4
3		115	29.658	1	1	1	3
4		101	29.409	2	1	1	4
5		109	29.595	3	1	1	5
6		114	29.722	1	1	1	3
7		105	29.442	3	1	1	5
8		109	29.567	1	1	1	3
9		111	29.525	1	1	1	3
10		117	29.502	3	1	1	5
11		109	29.533	3	1	1	5
12		103	29.641	1	1	1	3
13		110	29.531	1	2	1	4
14		97.8	29.471	2	1	1	4
15		118	29.459	1	1	1	3
16		104	29.257	1	1	2	4
17		113	29.168	1	1	3	5
18		109	29.373				

Tabela 6- Análise da qualidade

Efectuando uma primeira análise à tabela de resultados, consegue-se verificar variâncias significativas no tempo de ciclo e nos defeitos apresentados pelas peças.

Assim sendo, foi necessário efectuar uma análise de qualidade às peças para separar à priori as peças defeituosas, rejeitando-as, das peças aceitáveis. Foram consideradas peças rejeitadas, as peças que apresentavam uma soma das classificações de defeitos, superior a 5. Este valor, no fundo, representa todas as peças que apresentam um defeito sujeito a rejeição mesmo que os outros estejam aceites, ou apresentam dois defeitos que embora existam não se notam à vista desarmada, e que, caso ocorressem numa peça em muitas produzidas, o cliente não apresentaria reclamação. O valor ideal seria o que representa as peças sem defeitos, o 3. O 4 é um valor perto do ideal que se aceita.

Vê-se pelas peças e pelos resultados que obviamente o ponto de injeção é o defeito que tem mais peso e que mais influencia os resultados. Este defeito, neste caso, pode ser bastante difícil de corrigir. No entanto, apenas uma peça apresentou uma pequeníssima rebarba, mas que se nota numa determinada secção do círculo, pelo que foi difícil a decisão de atribuir a classificação 2. Quanto ao formato das peças, o efeito mais notável seria a variação da aurela superior ou inferior, pelo que no ensaio 17, esta ficou achatada em algumas secções circulares, tendo sido obtidos resultados aceitáveis nas restantes experiências. Uma especial atenção sobre o ensaio 18 que foi imediatamente

rejeitado uma vez que a peça saiu completamente fora de formato. Na tabela 4, estão assinaladas a vermelho, as peças rejeitadas, pelas razões acima descritas.

Realizada esta análise de qualidade em que foram rejeitados alguns ensaios pois não faria sentido inserir estes resultados no estudo uma vez que produziram peças defeituosas, foi realizada uma série de operações matemáticas de base estatística que possibilitou a descoberta dos parâmetros que maior influência têm durante o processo e os níveis em que devem ser utilizados de modo a produzir peças com qualidade. As operações realizadas que serão referidas no texto abaixo estão descritas no anexo D.

Após a análise de qualidade, e respectiva remoção dos resultados das peças sujeitas à rejeição, foram calculados 2 resultados numéricos para cada uma das variáveis de saída em estudo, o tempo de ciclo e o peso das peças. Foram calculados os valores dos rácios Sinal/ruído- S/N para cada ensaio e foi também calculada a tabela ANOVA para cada factor. Assim, foram encontrados os níveis para cada parâmetro que minimizam o S/N, ou seja, minimizam a influência dos factores externos. Neste caso, este valor pode ser visto como o valor de trabalho mais estável de cada parâmetro. Já a tabela ANOVA, transmite-nos a informação sobre os factores que mais influenciam o processo, ou seja, aqueles onde a variabilidade dos resultados é maior, logo, são um potencial factor de custos para o processo e, daí, a necessidade de os estabilizar.

Legendando a tabela ANOVA, o SS corresponde à soma dos quadrados. O v corresponde aos graus de liberdade inerentes a cada factor, ou seja, ao número de níveis menos um. O V é a variância enquanto o P, é o valor em percentagem com que cada factor contribui para a dispersão da variância.

Assim, para o Tempo de ciclo:

	SS	v	V	P
A	0.273333333	2	0.136666667	0.060119
B	55.558	2	27.779	12.21982
C	24.94333333	2	12.47166667	5.486215
D	177.5433333	2	88.77166667	39.05015
E	196.3366667	2	98.16833333	43.18369
Total=	454.6546667			100
e	680.04	11	61.82181818	

Tabela 7- ANOVA (TC)



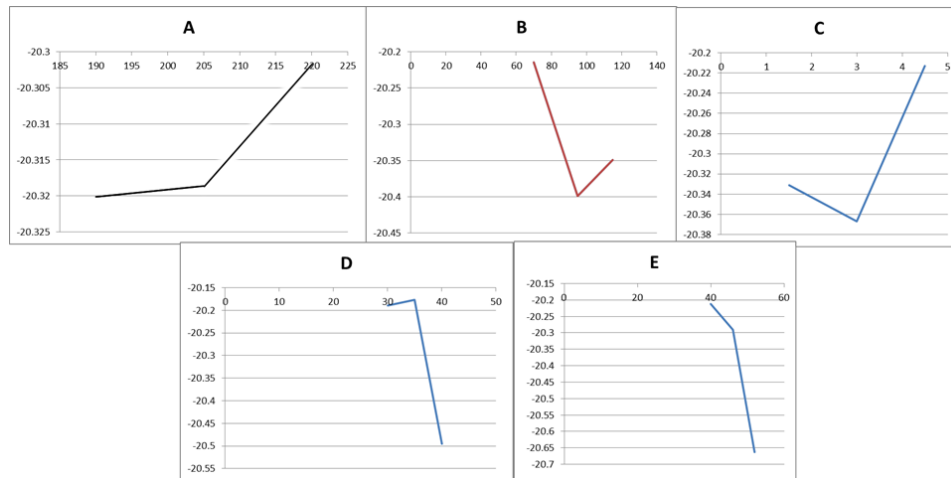


Figura 13- Gráficos S/N (TC)

Para a distribuição do peso:

	SS	v	V	P
A	0.199805783	2	0.099902892	33.72838213
B	0.14409375	2	0.072046875	24.32386581
C	0.0343683	2	0.01718415	5.801569585
D	0.167868583	2	0.083934292	28.33719641
E	0.046260167	2	0.023130083	7.808986069
Total=	0.592396583			100
e	0.645931	11	0.058721	

Tabela 8- ANOVA (Peso)

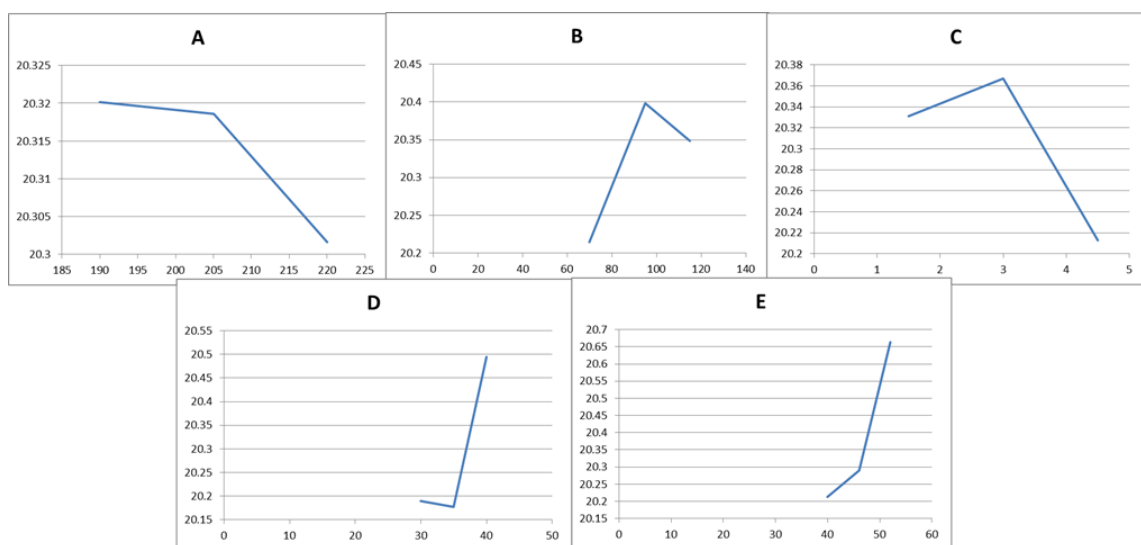


Figura 14- Gráficos S/N (Peso)

A partir das informações fornecidas pelos Gráficos sobre o rácio S/N para cada factor, podemos concluir que o nível a utilizar em cada factor será segundo o estudo da distribuição de peso A1,B2,C2,D3,E3 e para a minimização do tempo de ciclo será A3,B1,C3,D2,E1. Assim, segundo as informações fornecidas por ANOVA, podemos retirar que para a distribuição do peso, os factores mais influentes são o A, B, D e para a minimização do tempo de ciclo, o D e o E.

Assim sendo, combinando estas duas informações, e utilizando a equação (2) obtemos os resultados mais otimizados possível para este caso de estudo.

$$\mu_{CF} = \sum \overline{CF} - (N - 1)\overline{TCf} \quad (\text{Equação 2})$$

Cf- Control factor, factores ou parâmetros em estudo

N- Número total de factores com peso significativo

TCF- Média de todos os valores significativos (*n* factores\**m* parâmetros)

Para a distribuição do peso:

Media A1	29.7288	Media A2	29.5776667	Media A3	29.4295
Media B1	29.6848	Media B2	29.4616	Media B3	29.6815
Media D1	29.54383	Media D2	29.67875	Media D3	29.5585
media total	29.59388				

**Tabela 9- Médias (Peso)**

Recorrendo à equação (2)

$$\mu_{CF} = \overline{A_1} + \overline{B_2} + \overline{D_3} - (2 * 29.59388)$$

$$\mu_{CF} = 29.5611$$

Para a minimização do tempo de ciclo:

Media D1	104.5	mediaD2	104.2667	Media D3	112.2
Media E1	105.1333	mediaE2	107	Media E3	116.5
media total	108.2667				

**Tabela 10- Médias (TC)**

Recorrendo à equação (2)

$$\mu_{CF} = \overline{D}_2 + \overline{E}_1 - (1 * 108.2667)$$

$$\mu_{CF} = 101.133$$

Pode ser calculada ainda uma tolerância para a qual os factores de controlo se mantêm controlados e não causam a perda da qualidade do sistema. Esta tolerância irá ser calculada para um intervalo de confiança de 90%.

$$(\mu_{CF} - C.I) < \mu_{CF}(N) < (\mu_{CF} + C.I)$$

$$C.I = \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) V_e * \left(\frac{1}{\eta_{eff}} + 1/R\right)} \quad (\text{Equação 3})$$

F $\alpha$ - Valor tabelado segundo v (grau de confiança do factor), intervalo de confiança pretendido e ev (erro associado aos intervalos de confiança).

Ve- Erro associado à variância

$$\eta_{eff} = \frac{N}{1 + \sum v_{cf}} \quad , N- \text{n}^\circ \text{ de ensaios, } v\text{-graus de liberdade}$$

R- n $^\circ$  de peças produzidas por ensaio

Desenho das tolerâncias para o Tempo de Ciclo:

$$f_{10,2,11}=2.86$$

$$\eta_{eff} = \frac{12}{1+2+2}=2.4$$

$$C.I = \sqrt{2.86 * 61.82182 * \left(\frac{1}{2.4} + \frac{1}{2}\right)}$$

$$C.I = 12.7309$$

$$88.4021 < \mu_{CF}(N) < 113.8639$$

Desenho das tolerâncias para a distribuição do peso:

$$f_{10,2,11}=2.86$$

$$\eta_{eff} = \frac{12}{1+2+2+2}=1.714$$

$$C.I = \sqrt{2.86 * 0.058721 * \left(\frac{1}{1.714} + \frac{1}{2}\right)}$$

$$C.I = 0.4265$$

$$29.1346 < \mu_{CF}(N) < 29.9876$$

## **8. CONCLUSÕES**

### **8.1. Conclusões retiradas do estágio**

Pode-se afirmar que a realização do estágio foi uma experiência bastante vantajosa para o autor deste texto, uma vez que foi uma maneira de poder trabalhar na prática com conceitos aprendidos ao longo dos 5 anos de estudos na FTCUC. Foi um excelente complemento uma vez que foram requeridos ao estagiário não só o desempenho de actividades relacionadas com o processo de injeção (montagem e desmontagem de moldes e processo de afinação de parâmetros nas máquinas, entre outros), mas também actividades de planeamento de processos e actividades de gestão de stocks. Ainda que utilizados processos de planeamento e gestão de stocks simplistas, foram responsabilidades importantes que desenvolveram a capacidade de trabalho do estagiário.

A par do que já foi referido no texto acima, a visualização e participação naquilo que são os processos da empresa, nas suas relações com os clientes, fornecedores, e até mesmo entre sectores da empresa, terá sido benéfico para o estagiário.

No fundo, é uma experiência positiva que o autor deste texto recomenda aos alunos prestes a concluir a sua formação universitária, seja qual for a área de estudo, pois aliada à experiência adquirida é um excelente complemento para a formação recebida na universidade.

### **8.2. Conclusões sobre o caso de estudo- Metodologia de Taguchi**

Em função da experiência realizada e das contingências que lhe foram postas, obtiveram-se dois resultados óptimos na óptica de Taguchi para as duas variáveis de saída existentes: a variação do peso e a minimização do tempo de ciclo.

Tal como já foi referido no capítulo anterior, os parâmetros mais otimizados para minimizar o tempo de ciclo são o D2 (Tempo de segunda pressão) e o E1 (Tempo de arrefecimento), enquanto para uniformizar a distribuição do peso são o A1 (temperatura de injeção), o B2 (segunda pressão) e o D3 (tempo de injeção).

Assim, obtendo resultados para o desenho paramétrico, o peso óptimo que esta peça deve ter é de 29.5611 gramas e o tempo de ciclo que mais otimiza os recursos consumidos de modo a produzir peças de qualidade é de 101.133 segundos.

Continuando a aprofundar o estudo e entrando no domínio do desenho de tolerâncias, foram calculados os intervalos em que se obteriam valores aceitáveis de peso, e do tempo de ciclo. Ou seja, foram calculados os limites máximos e mínimos aceitáveis para as variáveis de saída.

Para a distribuição do peso:

$$29.1346 < \mu_{CF}(N) < 29.9876$$

Para a minimização do tempo de ciclo.

$$88.4021 < \mu_{CF}(N) < 113.8639$$

Realizando uma análise crítica aos resultados, repare-se que o TC mínimo aceitável é de 88.42, um valor irreal e inexistente, uma vez que o valor mínimo possível seria de 97.5, com uma combinação dos factores que fazem variar o tempo de ciclo, todos com o valor mínimo. Assim, sendo esse valor, não terá utilidade alguma sem ser o de verificar que com tempos de ciclo muito baixos, os parâmetros que fazem variar o TC, teriam de assumir valores demasiado baixos, logo ir-se-iam produzir peças defeituosas. Apenas serve para confirmar o que já se sabe da prática e experiência sobre injeção.

Assim, segundo esta metodologia, todos os ensaios que tenham TC superior ao seu limite superior, estariam a desperdiçar recursos e, portanto, deve-se ajustar o tempo de ciclo a valores dentro dos limites.

Raciocínio diferente deve ser aplicado aquando da realização de uma análise aos resultados produzidos pela outra variável de saída, o peso. Neste caso, apenas existe informação de acordo com distribuição, sem que se tenha o objectivo de minimizar ou de maximizar o valor de peso, mas de se lhe reduzir a variabilidade dos resultados. Assim, aplicando a metodologia de Taguchi e encontrados os seus limites superior e inferior, pode-se verificar quais são os ensaios que minimizam a variabilidade da amostra. Em  $n$  peças iguais produzidas, irá sempre existir uma variação do peso seja na ordem do grama ou do miligrama. O que se pretende é obter um processo mais robusto e simplificado que minimize a variabilidade do processo.

A tabela 11, representada abaixo, indica os ensaios que seguem as especificações da tolerância. O raciocínio para a formulação desta tabela está descrito no anexo J.

O valor 1 representa que a peça se encontra dentro dos limites de tolerância, enquanto o valor 0 representa que a peça se encontra fora das especificações de tolerância.

Ensaio	peso	TC	Aprovadas
1	1	1	1
2	0	1	0
3	1	0	0
4	1	1	1
6	1	0	0
8	1	1	1
9	1	1	1
12	1	1	1
13	1	1	1
14	1	1	1
15	1	0	0
16	1	1	1

**Tabela 11- Tolerâncias aceitáveis**

Sendo assim, verifica-se que os ensaios 2, 3, 6, e 15 são rejeitados, uma vez que apresentam resultados fora dos valores limite.

Dos 18 ensaios iniciais, pode-se verificar que apenas 8 são aprovados, o 1,4,8,9,12,13,14 e 16, ou seja 44% dos ensaios iniciais.

O quadro abaixo representado apresenta os resultados quando combinadas as duas variáveis de saída e quando combinados os valores óptimos com os níveis óptimos.

Peso- A1 B2 D3		TC- D2 E1				
Ensaio	A	B	C	D	E	
	T	2ª pressão	Tempo de injeção(mm/s)	T 2ª	T arrefecimento	
1	1	1	1	1	1	1
4	1	2	2	2	1	2
8	2	1	1	1	2	1
9	2	2	2	2	3	2
12	2	3	3	3	3	1
13	3	1	1	1	1	2
14	3	1	3	3	2	1
16	3	2	1	1	1	1

**Tabela 12-Combinações de resultados**

Na prática, dever-se-iam ajustar os parâmetros fazendo ligeiros ajustamentos de modo a chegar a um tempo de ciclo de 101 segundos. No entanto, esta solução apresenta-se como algo inviável uma vez que levaria à realização de mais testes e de mais recursos consumidos. Assim, realizando uma análise aos resultados obtidos, consegue-se seleccionar um ensaio que reflecta os parâmetros óptimos e os resultados óptimos.

Qualquer um dos ensaios mostrados na tabela X produzirá peças de qualidade, no entanto, os ensaios 4, 8, 9 e 14 são os que se encontram mais próximos dos níveis ideais para cada parâmetro.

Podemos concluir que é no ensaio 14 que se obtêm o melhor valor de tempo de ciclo, uma vez que é o menor valor de tempo de ciclo que se regista e também coincide com os melhores parâmetros apresentados para minimizar o tempo de ciclo.

Segundo o modelo da função perda criada por Genichi Taguchi, a sociedade procura que este produto seja fabricado nos valores limite encontrados, quer para o TC quer para os valores obtidos peso. Para isso é necessário utilizar os parâmetros já acima descritos.

Este estudo pode ser um pouco mais aprofundado através da realização de uma simples análise financeira. Sabendo que os gastos de máquina onde foi efectuado o teste são de 16€/hora, consegue-se facilmente calcular as poupanças utilizando a regulação Taguchi em relação a uma outra qualquer possível. Arbitre-se a produção de 1 milhão de moldações.

$$16€/hora = 0.004444 \text{ €/s}$$

$$0.004444€/s * 101.13s = 0.449466€/moldação * 1000000 = 449466€$$

$$0.004444€/s * 118s = 0.524392€/moldação * 1000000 = 524392€$$

$$524392€ - 449466€ = 74926€ \text{ Poupados}$$

Neste caso, a título de exemplo, adoptou-se o TC do ensaio 15, que é o TC mais alto dos que foram aprovados, mas no exemplo acima verifica-se facilmente a importância desta regulação e desta experiência. e produzir peças de igual qualidade nos dois ensaios consumindo menos recursos utilizando o ensaio mais próximo da regulação Taguchi. Não estão contabilizados os custos de degradação da máquina, com o pessoal (dos testes) e com as matérias-primas.



É importante deixar explícito que esta metodologia pode ser aplicada em várias outras situações e em casos de estudo dos mais variados sectores industriais que tenham os mesmos objectivos: a redução de custos e optimização de processos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ross, Phillip J. (1988), “Taguchi Techniques for Quality Engineering”, McGraw Hill

Mink W. (1977) “inyección de plásticos”, GG

Silva, Cristóvão (2014), Apontamentos de apoios às aulas teóricas de gestão da produção

Senra, José, Apontamentos teóricos sobre moldes e injeção de plástico para formações

Senra, José, Injeção de plásticos, Diagnóstico de falhas e defeitos

Manual de injeção Engel

Injection Molding- Defects, Causes, remedies, Bayer

<http://www.cefamol.pt/cefamol/pt/.html>



## **ANEXO A- PROCESSO DE MONTAGEM DE UM MOLDE**

1. Procurar o molde no armazém dos moldes. Este armazém é o local onde o pessoal da fabricação, principalmente o pessoal que trabalha na bancada, armazena os moldes em fabricação já acabados ou partes deles. Aqui, é onde os moldes, à espera de teste são guardados, assim como os moldes em fabricação, quando não estão na bancada.

2. Após saber a localização do molde, verificar se possui barra de fecho. É importante saber se o molde tem barra de fecho a unir a cavidade à bucha pois no centro da barra existe a rosca onde se coloca o olhal. Caso não exista barra de fecho, dois olhais devem ser colocados em roscas simétricas de modo a que o molde esteja equilibrado aquando do transporte.

3. Enrosca-se o olhal e coloca-se o molde no carro de transporte recorrendo à ponte rolante do armazém. Transporta-se o molde até perto da máquina de injeção.

4. Com auxílio da ponte rolante da LN Plas coloca-se o molde dentro da máquina centrando o mesmo na máquina de injeção. Com recurso ao anel de centragem (caso seja necessário) enfiar o molde na máquina e apertar uma barra de segurança na cavidade, do lado do operador, na parte superior do molde. Enroscar a haste do lado da bucha e apertar o molde, avançando o prato móvel até atingir a força de fecho necessária.

5. Apertar as restantes barras de segurança dos dois lados do molde, na cavidade e na bucha. É importante que apenas se retire a ponte do molde quando este já está prensado e preso com as barras de segurança de modo a evitar acidentes inesperados. Para se ver um exemplo de como esta metodologia é importante, imagine-se o caso em que a electricidade falha nesse momento e não existe ponte para segurar o molde. A máquina vai perdendo força gradualmente e corre-se o risco de o molde cair e provocar danos físicos e materiais bastante graves.

6. Retirar a barra de transporte/fecho e abrir o molde. Neste momento, o molde está aberto com a cavidade do lado do prato fixo e a bucha do lado do prato móvel.

7. Ajustar o hidráulico de extracção à haste enroscada no molde. Puxar a extracção para a frente até bater na haste de modo a obter o ponto zero da extracção na máquina. Colocar o KO e testar a extracção.

8. Normalmente o molde já vem da bancada com os recordes montados, mas caso não venha, deve montar-se e apertar os recordes necessários e ligar os circuitos de água à volta do molde. Normalmente as entradas e saídas das tubagens de água vêm marcadas com in1, out1. Assim sendo, deve-se deixar sempre o primeiro in e o último out livres para fazer as ligações ao controlador. As ligações devem ser efectuadas de modo a que a água passe de umas tubagens para as outras e então o out1 irá ser ligado ao in2. Todas as mangueiras de ligação devem seguir este raciocínio de modo a que a água circule em todas as tubagens.

9. É importante verificar-se a que temperaturas devem estar a bucha e a cavidade, sendo que, salvo raras excepções, devem ser criados dois circuitos, um para cada parte do molde. Normalmente a cavidade e a bucha devem estar a temperaturas diferentes. Existe ainda a possibilidade de ser criado um outro circuito para os elementos móveis do molde se assim se justificar (de modo a facilitar a organização dos circuitos ou se as temperaturas do aço forem diferentes).

10. Ir buscar os controladores de temperatura da água e colocá-los perto da máquina. Neste momento têm de se completar os circuitos das águas. Então efectuam-se as ligações dos canos de água (que estão anexados à própria máquina) ao controlador, entrada e saída de água. Posteriormente, efectuam-se as ligações do controlador para o molde tendo que existir uma entrada e uma saída de água do molde.

Uma nota importante: por vezes existem moldes que necessitam de funcionar a altas temperaturas; nesse caso, o líquido de arrefecimento deve ser o óleo, pelo que se deve ir buscar um aparelho de aquecimento e mangueiras de óleo e não de água. Neste caso, só se pode trabalhar com o molde numa máquina que tenha circuitos de óleo já pré-definidos.

11. Uma vez montados todos os circuitos de água, deve-se abrir as torneiras e deixar os controladores a aquecer à temperatura desejada.

12. Caso o molde tenha carburador incorporado, é necessário aquecer os bicos (para que o material flua bem dentro do molde ou porque é requisito para que a moldação ocorra). Para isso, é preciso ir buscar um controlador de temperatura e efectuar as ligações ao molde utilizando os “chicotes”.

13. Marcar no controlador de temperatura a temperatura desejada para os bicos e deixar o molde a aquecer.

14. Nesta fase, será útil ir buscar o material à estufa (caso já tenha tempo suficiente de estufa), e ir colocá-lo na tremonha.





## **ANEXO B- PROCESSO DE DESMONTAGEM DE UM MOLDE**

1. Certificar que o molde está fechado e pôr as águas a baixar para a temperatura ambiente de modo a que tanto as mangueiras como o próprio molde estejam a uma temperatura manuseável.

2. Desligar o controlador de temperatura de modo a baixar a temperatura dos bicos.

3. Enquanto a temperatura das águas baixa (processo que pode demorar cerca de 5 a 10 minutos no mínimo) pode-se aproveitar para retirar o material não utilizado que ainda reside na tremonha, de modo a aproveitá-lo para futuros testes ou futuras produções. Assim, deve-se retirar o material da tremonha e passar PP, o material de limpeza, de modo a que o fuso da máquina fique limpo e pronto a ser utilizado pelo próximo operador que necessite, seja dos testes da Moldes ou das produções da Plás.

4. Quando o molde estiver à temperatura de manusear, devem-se retirar todas as mangueiras quer do molde quer dos aparelhos termorreguladores e, posteriormente, á-las nos sítios correctos. (Deve-se ter em atenção que junto a cada máquina deve ficar sempre um aparelho de águas sendo que é escusado retirar as mangueiras do mesmo)

5. Caso existam, devem ser retirados os chicotes que fazem a ligação entre o carburador e as sondas e o aparelho de aquecimento.

6. Colocar a barra de segurança ou de transporte no molde e enroscar o olhal correcto na mesma barra.

7. Centrar a ponte rolante sobre o molde e colocar o gancho da mesma no olhal.

8. Retirar as barras de segunda do lado da bucha e da cavidade. Deve-se sempre deixar uma barra de segurança na cavidade do lado superior do operador de modo a que o molde, quando se abrir os pratos da máquina, não fique a balançar para evitar estragos materiais.

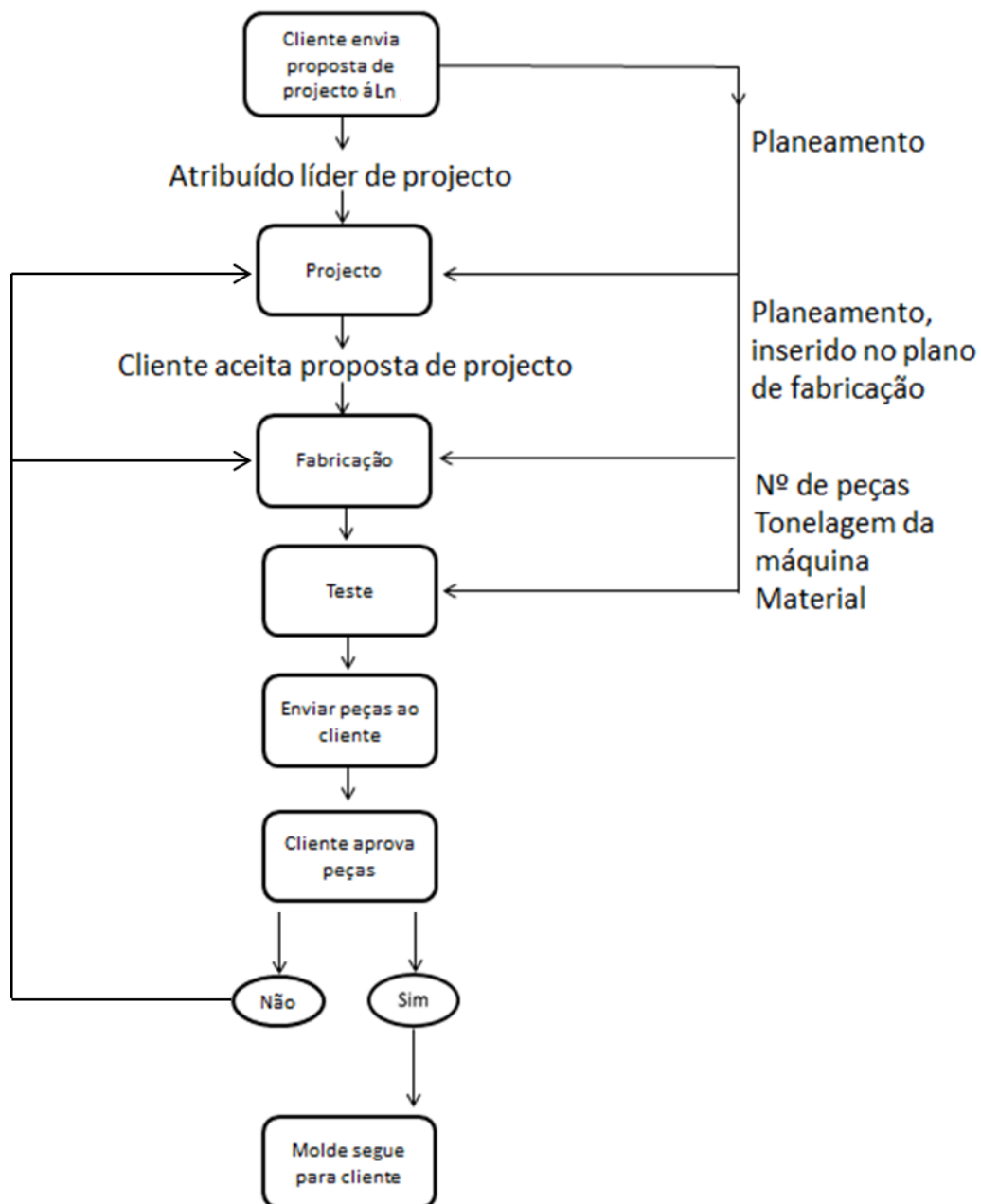
9. Abrir os pratos da máquina e retirar a barra de segurança. Deve-se acompanhar o movimento do molde e, com o comando da ponte na mão, certificar-se de que este não se mova muito da posição de encaixe. O molde terá a tendência para se

libertar do prato fixo pelo que deve ser retirado cuidadosamente com auxílio da ponte e colocado no carrinho de transporte.

10. Ao colocar o molde no carrinho de transporte deve-se retirar o anel de centragem caso ele não seja fixo.

11. Arrumar o molde na prateleira correcta e o anel de centragem e haste nas gavetas correctas.

## ANEXO C- PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UM MOLDE









## ANEXO E- ESTUDO DE ENCHIMENTO E DE SEGUNDA PRESSÃO

Estudo de enchimento:

1. Deve-se começar a injectar com pressões de injeção baixas,
2. Ir aumentando a pressão, fazendo uma constante verificação dos valores dos valores da almofada.
3. Encher a peça a 90%



Durante o estudo de enchimento, caso o molde tenha mais que uma cavidade, é necessário verificar se as peças então a ter um enchimento uniforme. Caso não tenham esse enchimento uniforme, é necessário equilibrar o enchimento. Para equilibrar as peças deve-se aumentar a temperatura nos bicos onde as peças estão a sair demasiados curtas. Para que se possa fazer isso, tem de se saber a que bicos correspondem as cavidades.



Caso, não seja conhecida a ligação cavidade-bico de aquecimento, deve ser desligado bico a bico e verificado no molde a posição onde a peça ficou mal cheia.

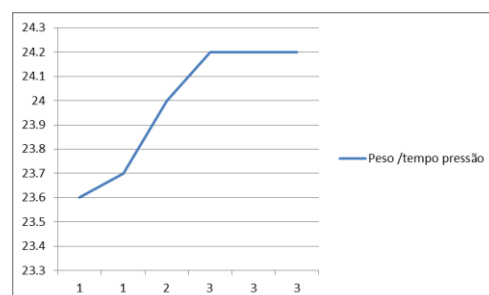
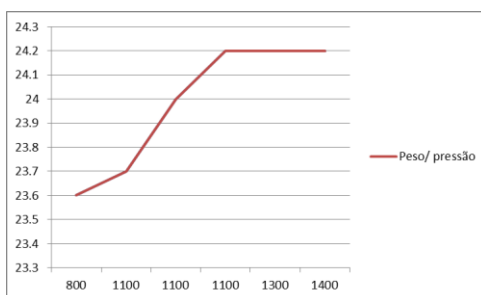


### Estudo 2ª pressão:

1. Após o enchimento da peça a 90% deve ser efectuado o estudo de 2ª pressão.
2. Deve-se aqui variar o valor e o tempo da 2ª pressão (apenas caso seja necessário) como demonstrado no gráfico, até que o peso da peça estabilize.

Assim, para este conjunto de dados retirados da experiência anterior obtêm-se os seguintes resultados gráficos:

Peso	Pressão	Tempo de 2ª
23.6	800	1
23.7	1100	1
24	1100	2
24.2	1100	3
24.2	1300	3
24.2	1400	3





## ANEXO F- ANALISE DE FALHAS E DEFEITOS

(1) Rebarba	
Causas	Soluções
Força de fecho demasiado baixa	-Ajustar força de fecho para maior força -Mudar para máquina de maior tonelagem -Verificar desalinhamentos na unidade de fecho
Material demasiado quente	-Diminuir temperatura do cilindro -Diminuir velocidade de injeção
Dosagem demasiado elevada	-Reduzir dosagem
Pressão de dosagem insuficiente	-Baixar a pressão de injeção

(2) Moldação incompleta	
Causas	Soluções
Pressão de injeção insuficiente	-Aumentar pressão
Temperatura demasiado baixa	-Aumentar temperatura do cilindro
Tempo de enchimento curto	-Aumentar tempo de enchimento
Bico de injeção obstruído	-Remover impurezas do material

(3) Queimaduras	
Causas	Soluções
Material muito quente	-Baixar temperatura do cilindro
Tempo de residência do material demasiado longo	-Reduzir tempo de ciclo
Material mal estufado	-Tempo e temperatura correctas de estufa

Velocidade de injeção elevada	-Reduzir velocidade de injeção.
-------------------------------	---------------------------------

<b>(4) Vazios nas moldações</b>	
<b>Causas</b>	<b>Soluções</b>
Entrada de ar durante a plasticização	-Baixar temperaturas do cilindro -Reduzir RPM do Fuso
Segunda pressão insuficiente	-Aumentar segunda pressão

<b>(5) Chupados</b>	
<b>Causas</b>	<b>Soluções</b>
Material insuficiente	-Aumentar dosagem -Aumentar 2ª pressão -Verificar almofada
Temperatura alta demais no cilindro	-Reduzir temperatura do cilindro
Material com elevados valores de contracção	-Utilizar um material diferente

<b>(6) Moldação partida causado pela extracção</b>	
<b>Causas</b>	<b>Soluções</b>
Temperatura do cilindro muito baixa	-Aumentar as temperaturas do cilindro e do bico de injeção
Moldação parte na extracção	-Reduzir velocidade de avanço dos extractores
Molde fria	-Subir temperatura das águas

<b>(7) Linhas de soldadura demasiado marcadas</b>	
<b>Causas</b>	<b>Soluções</b>
Material demasiado frio na zona da união dos fluxos	-aumentar a temperatura do cilindro e dos bicos

Velocidade de injeção desajustada	-ajustar velocidade de injeção
-----------------------------------	--------------------------------

### **(8) Acabamentos superficiais não uniformes**

<b>Causas</b>	<b>Soluções</b>
Temperatura demasiado baixa	-Aumentar a temperatura
Material insuficiente	-Aumentar dosagem de material
Pressão insuiciente sob a superfície do molde	-Aumentar força de fecho

### **(9) Má homogeneidade da cor**

<b>Causas</b>	<b>Soluções</b>
Mistura errada dos pigmentos no material	-Diminuir a temperatura do cilindro -Aumentar a contrapressão -usar concentrações correctas -Moer os pigmentos para uma melhor mistura
Material insuficiente	-Aumentar dosagem de material

### **(10) Moldação fica presa no molde**

<b>Causas</b>	<b>Soluções</b>
Sobre compactação do material	-Baixar pressão de injeção -Reduzir dosagem -Baixar temperatura
Ângulo de saída insuficiente	-Remeter molde para a fabricação
Sistema de extracção inadequado	-Modificar o sistema de extracção



## ANEXO G- FERRAMENTAS UTILIZADAS NA MONTAGEM E DESMONTAGEM DE MOLDES



Chaves de aperto



Alicate de descarnar fios



Alicate de corte



Chaves de bocas



Alicate de pontas



Chaves de fendas



Chaves de boca



Chave inglesa



Chave de roquete



## ANEXO I- TABELA ANOVA.

Soma dos quadrados:

$$SS_T = \sum SS_n$$

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E$$

Para cada  $SS_n$  :

Excel formula:  $=((((POTÊNCIA((SOMA(J41:J44))+J46;2))/5)+((POTÊNCIA((SOMA(J48:J49)+J52);2))/3)+((POTÊNCIA((SOMA(J53:J56));2))/4))-D60)$

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Ensaio	A	B	C	D	E	TC	Peso			S/n po peso	S/N po ciclo
	T	2ª pressão	Tempo de injeção(mm/s)	T 2ª	T arrefecimento						
1	190	70	1.5	30	40	103	29.605			20.1283722	-20.1283722
2	190	70	3	35	46	106	30.25			20.2530587	-20.2530587
3	190	95	4.5	40	52	115	29.658			20.6069784	-20.6069784
4	190	95	3	30	46	101	29.409			20.0432137	-20.0432137
5	190	115	4.5	35	52	109	29.595			20.374265	-20.374265
6	190	115	1.5	40	40	114	29.722			20.5690485	-20.5690485
7	205	70	4.5	30	52	105	29.442			20.211893	-20.211893
8	205	70	1.5	35	40	109	29.567			20.374265	-20.374265
9	205	95	3	40	46	111	29.525			20.4532298	-20.4532298
10	205	95	3	40	52	117	29.502			20.6818586	-20.6818586
11	205	115	1.5	30	46	109	29.533			20.374265	-20.374265
12	205	115	4.5	40	40	103	29.641			20.1283722	-20.1283722
13	220	70	1.5	30	46	110	29.531			20.4139269	-20.4139269
14	220	70	4.5	35	40	97.8	29.471			19.9033885	-19.9033885
15	220	95	3	40	52	118	29.459			20.7188201	-20.7188201
16	220	95	1.5	30	40	104	29.257			20.1703334	-20.1703334
17	220	115	3	35	52	113	29.168			20.5307844	-20.5307844
18	220	115	4.5	40	46	109	29.373			20.374265	-20.374265
Erro (T^2)/N=		10507.7								139062.27	

Calculo do erro((T^2)/N):

Excel formula:  $=((POTÊNCIA((SOMA(J41:J44))+J46+J48+J49+J52+J53+J54+J55+J56);2))/12)$

	C	D	E	F	G	H	I	J
Ensaio	A	B	C	D	E	TC	Peso	
	T	2ª pressão	Tempo de injeção(mm/s)	T 2ª	T arrefecimento			
1	190	70	1.5	30	40	103	29.605	
2	190	70	3	35	46	106	30.25	
3	190	95	4.5	40	52	115	29.658	
4	190	95	3	30	46	101	29.409	
5	190	115	4.5	35	52	109	29.595	
6	190	115	1.5	40	40	114	29.722	
7	205	70	4.5	30	52	105	29.442	
8	205	70	1.5	35	40	109	29.567	
9	205	95	3	40	46	111	29.525	
10	205	95	3	40	52	117	29.502	
11	205	115	1.5	30	46	109	29.533	
12	205	115	4.5	40	40	103	29.641	
13	220	70	1.5	30	46	110	29.531	
14	220	70	4.5	35	40	97.8	29.471	
15	220	95	3	40	52	118	29.459	
16	220	95	1.5	30	40	104	29.257	
17	220	115	3	35	52	113	29.168	
18	220	115	4.5	40	46	109	29.373	
Erro (T^2)/N=								

Cálculo do erro para a ANOVA:

✓  $f_x = P41+P42+P43+P44+P46+P48+P49+P52+P53+P54+P55+P56$

O	P	Q	R	S	T	U
	Erros TC	Erros Peso	Qualidade			
			PI	Rebarba	Formato	soma
	0	0	1	1	2	4
	9	0.416025	2	1	1	4
	144	0.002809	1	1	1	3
	4	0.038416	2	1	1	4
	36	1E-04	3	1	1	5
	121	0.013689	1	1	1	3
	4	0.026569	3	1	1	5
	36	0.001444	1	1	1	3
	64	0.0064	1	1	1	3
	196	0.010609	3	1	1	5
	36	0.005184	3	1	1	5
	0	0.001296	1	1	1	3
	49	0.005476	1	2	1	4
	27.04	0.017956	2	1	1	4
	225	0.021316	1	1	1	3
	1	0.121104	1	1	2	4
	100	0.190969	1	1	3	5
	36	0.053824				
Erro Total=	55+P56	0.645931				

$$e = TC_n - TC_1$$



## ANEXO J- MÁQUINAS DE INJEÇÃO



Este texto foi escrito em profundo desacordo com o novo acordo ortográfico.