



Rui Pedro Soares de  
Pinho

Avaliação do processamento de chapas de  
*baquelite* por injeção





**Rui Pedro Soares de  
Pinho**

**Avaliação do processamento de chapas de  
*baquelite* por injeção**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, realizada sob a orientação científica do Doutor Francisco Avelino Freitas, Professor Auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e com supervisão industrial do Engenheiro Nélson Nunes, responsável da produção na empresa FORMAPLAS.



*Aos meus pais, Pedro e Teresa,  
Ao meu irmão, Tiago  
E à Margarida*



## **o júri**

Presidente

Doutora Maria Inês Purcell de Portugal Branco

Professor Auxiliar do Departamento de Química – Universidade de Aveiro

Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade de Aveiro

Doutor Francisco Avelino da Silva Freitas

Professor Auxiliar do Departamento de Química – Universidade de Aveiro





## **Agradecimentos**

Nesta etapa final da minha vida de estudante, visto não ter sido uma caminhada solitária quero agradecer a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o meu conhecimento profissional, pessoal e académico.

Gostaria de começar por agradecer aos meus orientadores nesta dissertação, na universidade, o Professor Doutor Avelino Freitas, e na empresa, o Eng.º Néilson Nunes, pelos ensinamentos, apoio e disponibilidade demonstrados, que foram fulcrais na realização desta dissertação e para a minha formação profissional. Um obrigado também ao Eng.º Manuel Francisco pela ajuda na reta final desta dissertação.

Um reconhecimento pela orientação científica e supervisão na otimização e planeamento fatorial do trabalho experimental pela parte do Professor Doutor Carlos Manuel Silva e do Eng.º Marcelo Melo. Sem este apoio científico teria sido impossível a extensão e quantificação dos resultados experimentais obtidos.

Uma palavra de agradecimento também ao administrador da empresa FORMAPLAS, o Eng.º Luís Miguel Alves, pela disponibilidade tanto de recursos como também da sua experiência neste tema.

Um obrigado ao Sr. Adelino, pela ajuda e compreensão ao longo de todo o projeto.



**Agradecimentos (cont.)**

Um agradecimento também aos meus colegas de estudo e de curso, em especial ao Rui, à Joana e à Susete pelos momentos tanto de estudo como de pura diversão que foram absolutamente fantásticos.

Aos meus colegas de casa, o Pedro, o Vasco, o João e o Gil, que partilharam comigo o mesmo espaço desde o meu primeiro dia em Aveiro, apesar de não serem de sempre vão com certeza ser para sempre.

Um agradecimento à minha namorada Margarida pela PACIÊNCIA, apoio e compreensão demonstrados desde o dia em que nos conhecemos à mais de uma década.

Por último, mas com a maior importância um grande OBRIGADO, aos meus pais e irmão por serem a minha base para tudo, pelo amor, dedicação e acima de tudo compreensão ao longo da minha vida. Quero também deixar uma palavra de gratidão aos meus queridos avós que sempre me apoiaram e tiveram uma grande contribuição na minha formação como pessoa.



## Palavras-chave

Termoendurecíveis; *Baquelite*; Injeção; Controlo de Qualidade; Diagramas de Pareto e Ishikawa; Desenho Fatorial de Experiências; Otimização por RSM;

## Resumo

Esta dissertação teve como objetivo principal a avaliação do processamento de chapas de baquelite, termoendurecível conhecido por ser económico e resistente a altas temperaturas. O trabalho foi realizado na empresa FLAMA, S.A., onde foram produzidas por injeção as referidas chapas, que fazem parte de um eletrodoméstico atualmente comercializado pela empresa.

No início foram identificados diversos problemas na injeção, a injeção não estava equilibrada e a quantidade e localização das sondas não eram adequadas. Assim, através do Diagrama de Ishikawa foram reunidas todas as variáveis intervenientes, e posteriormente, quais as que representavam potenciais falhas.

Primeiramente interveio-se na ferramenta, calibração da injeção e realocização das sondas. Posteriormente fizeram-se ensaios e os resultados foram avaliados. Verificou-se que os empenos nas peças eram a maior causa de rejeição, portanto implementaram-se gabaritos para garantir as dimensões do produto final.

Numa fase final, de refinamento dos resultados, usou-se o método do desenho fatorial de experiências para se otimizar o processo de afinação da máquina. Com esse objetivo, foi adotada uma escala de qualidade de 0 a 3 e definidos inicialmente 8 fatores, as seis temperaturas controladas no molde e as duas pressões (injeção e dosagem) e dois níveis. Através da primeira otimização por Metodologia de Superfície de Resposta (RSM), ficou-se apenas com 3 variáveis as temperaturas T2 e T5 e a pressão de injeção. Finalmente, as melhores condições de produção são apresentados em forma de uma curva polinomial, que permite distinguir as melhores combinações para as condições operatórias.



**keywords**

Thermosset; *Bakelite*; Injection; Quality Control; Ishikawa /Pareto Diagram; Factorial Design of Experiments; Optimization by RSM

**abstract**

This dissertation had as its main goal, the evaluation of the processing of Bakelite parts, thermoset, known for being economic and resistant to high temperatures. This work was realized in the company FLAMA, S.A., where were produced by injection the referred parts, which are part of an electric appliance actually marketed by this company.

At the beginning there were identified several problems in the injection. The injection was not balanced and the amount and placement of proves were not appropriate. Thus, through the Ishikawa Diagram all the participating variables were gathered, and after, the ones that marked potential flaws.

First we intervened on the tool, the calibration of the injection and in the relocation of proves. Later, tests were made and the results evaluated. We noticed that the bending on the parts were the biggest cause of rejection, therefore were implemented templates to assure the dimensions of the final product.

In a final stage, looking for process refinements, it was used the factorial drawing of experiments method to optimize the machine tuning process. With that goal, it was adopted a quality scale of 0 to 3 and initially defined 8 factors, the six temperatures controlled in the mold and the two pressures (injection and dosage) and two levels. Through the first optimization by Response Surface Method (RSM), there were only left with three variables, the temperatures T2 and T5 and the injection pressure. Finally, the best production conditions are presented in the shape of a polynomial curve, which allows distinguishing the best matches towards the operative conditions.





---

## ÍNDICE

---

Índice de Figuras .....	xxi
Índice de Tabelas .....	xxiii
Lista de Abreviaturas .....	xxv
1 – Introdução .....	1
1.1 - A Empresa .....	1
1.2 - Contextualização do problema .....	1
1.3 - Estrutura da dissertação .....	2
2 – Tecnologia de polímeros .....	3
2.1 - Matéria-prima .....	3
2.1.1 - Propriedades dos termoendurecíveis .....	3
2.1.2 - Fenol e Formaldeído .....	4
2.1.3 - Tipos de resinas formadas pelas diferentes policondensações .....	5
2.1.4 - Composição dos compostos fenólicos de moldação .....	6
2.2 - Processamento .....	7
2.2.1 - Extrusão .....	7
2.2.2 – Moldação .....	8
2.2.3 - Características do processamento .....	13
3 – Métodos de avaliação e resolução .....	18
3.1 – As Sete Ferramentas da qualidade .....	18
3.1.1 - Fluxograma .....	19
3.1.2 - Histograma .....	19
3.1.3 - Diagrama de Pareto .....	19

3.1.4 - Diagrama de Ishikawa.....	19
3.1.5 – Diagrama de Dispersão.....	21
3.1.6 – Cartas de controlo.....	21
3.1.7 - Folhas de Registo e Verificação.....	21
3.2 – Metodologia de superfícies de resposta (RSM).....	22
3.2.1 – Desenho fatorial de experiências.....	22
3.2.2 – Modelo de Superfície de Resposta (RSM).....	23
4 – Avaliação do sistema de injeção.....	27
4.1 - Identificação do problema.....	27
4.2 - Biblioteca de defeitos.....	28
4.3 - Dimensões.....	29
4.4 - Temperatura.....	30
4.5 - Tempo.....	30
4.6 - Matéria-Prima.....	30
5 – Discussão e Resultados.....	31
5.1 - Calibração da Injeção.....	31
5.2 - Relocalização das sondas.....	32
5.3 - Estudo do impacto da matéria-prima.....	34
5.4 - Temperaturas da câmara e do bico.....	35
5.5 - Avaliação do número de rejeitados na 1ª fase.....	36
5.6 - Introdução de gabaritos.....	37
5.7 - Parâmetros de máquina.....	38
5.8 – Tratamento estatístico.....	39
6 – Conclusões.....	51
7 – Referências bibliográficas.....	53

---

Anexos .....	56
Anexo 1: Tabela Desenho fatorial de experiências (1ª Fase) .....	57
Anexo 2: Tabela pesos e dimensões críticas das peças do desenho fatorial de experiências (2ª Fase) .....	64
Anexo 3: Certificado de análises matéria-prima .....	65
Anexo 4: Certificado de análises matéria-prima com carga mineral superior .....	66
Anexo 5: Ficha de especificação técnica utilizada pela empresa .....	67
Anexo 6: Desenho Técnico Tabuleiro Superior .....	68
Anexo 7: Desenho Técnico Tabuleiro Superior .....	69



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Monómero de Baquelite [3].....	3
Figura 2 - Exemplos de produtos com peças injetadas em baquelite .....	4
Figura 3 - Estrutura comum dos resóis [2]. .....	5
Figura 4 - Exemplo típico da estrutura de uma Novolaca [2]. .....	6
Figura 5 - Desenho de uma máquina de extrusão [7]......	8
Figura 6 - Processo de moldação por compressão [7]. .....	9
Figura 7 - Operação moldação por transferência [7]......	10
Figura 8 - Exemplo de máquina de injeção [7]. .....	12
Figura 9 - Processo de calandragem [7]. .....	12
Figura 10 - Gráfico da evolução da fluidez com a temperatura [2]......	13
Figura 11 - Diagrama de Causa-e-Efeito[8]. .....	20
Figura 12 - Diagrama de Ishikawa para o processo.....	27
Figura 13 - Biblioteca de defeitos tabuleiro superior .....	28
Figura 14 - Biblioteca de defeitos tabuleiro inferior .....	29
Figura 15 - Imagens peças prontas, à esquerda o tabuleiro superior e à direita tabuleiro inferior.....	31
Figura 16 - Configuração inicial das sondas no molde. ....	33
Figura 17 - Imagens termográficas.....	33
Figura 18 - Relocalização das sondas no tabuleiro superior. ....	34
Figura 19 - Medição da temperatura da purga da matéria-prima para confirmar temperatura no bico da câmara.....	35

Figura 20 - Diagrama de Pareto referente à primeira fase com os rejeitados do tabuleiro superior.....	36
Figura 21 - Diagrama de Pareto referente à primeira fase com os rejeitados do tabuleiro inferior.....	37
Figura 22 - Gabarito utilizado no arrefecimento das peças. Legenda: 1- Tabuleiro Inferior 2- Tabuleiro Superior. ....	37
Figura 23 - Conjunto de gabaritos utilizados.....	38
Figura 24 - Diagrama de Pareto com respostas para 8 variáveis.....	41
Figura 25 – Gráfico com T2 fixo a 155°C e com T5 e P <sub>1</sub> a variar nos intervalos testados .....	44
Figura 26 – Gráfico com T2 fixo a 165°C e com T5 e P <sub>1</sub> a variar nos intervalos testados .....	45
Figura 27 – Gráfico com T2 fixo a 175°C e com T5 e P <sub>1</sub> a variar nos intervalos testados .....	46
Figura 28 – Gráfico com T5 fixo a 150°C e com T2 e P <sub>1</sub> a variar nos intervalos testados .....	46
Figura 29 – Gráfico com T5 fixo a 160°C e com T2 e P <sub>1</sub> a variar nos intervalos testados .....	47
Figura 30 – Gráfico com T5 fixo a 170°C e com T2 e P <sub>1</sub> a variar nos intervalos testados .....	47
Figura 31 – Gráfico com P <sub>1</sub> fixo a 105 kgf e com T5 e T2 a variar nos intervalos testados .....	48
Figura 32 - Gráfico com P <sub>1</sub> fixo a 115 kgf e com T5 e T2 a variar nos intervalos testados .....	48
Figura 33 – Gráfico com P <sub>1</sub> fixo a 125 kgf e com T5 e T2 a variar nos intervalos testados .....	49

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1- Composição geral de um composto fenólico de moldação [4] .....	7
Tabela 2 - Condições típicas da moldação por injeção.[2].....	15
Tabela 3 - Resultados dos ensaios das meias injeções .....	32
Tabela 4 - Valores padrão e níveis de Temperatura e Pressão .....	40
Tabela 5 - Variáveis fixas e respectivos valores em função dos resultados obtidos na análise da figura 22 .....	42
Tabela 6 - Ensaios e resultados da segunda otimização .....	43
Tabela 7 - Matriz de experiências e resultado do primeiro desenho fatorial.....	57
Tabela 8 - Resultado dos pesos e cotas críticas das peças do segundo desenho fatorial.....	64





## LISTA DE ABREVIATURAS

DoE	Desenho de Experiências
OFT	Índice de Fluidez (%)
$P_D$	Pressão de Dosagem (kgf)
$P_I$	Pressão de Injeção (kgf)
RSM	Metodologia de Superfície de Resposta
$T_i$	Temperatura no molde ( $^{\circ}\text{C}$ ), com $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
$x_0$	Valor real da variável no ponto central
$x_k$	Variável real
$X_k$	Variável codificada
$\beta_i$	Coefficiente do modelo da regressão, com $i=1,2,3$
$\varepsilon$	Erro associado à regressão



# 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1 - A EMPRESA

A FORMAPLAS, empresa onde foi realizado este trabalho, pertence ao grupo FLAMA S.A., sediado na zona industrial do Alto de Mirões, Cesar, Oliveira de Azeméis, empregando cerca de 200 pessoas e com uma área laboral de cerca de 12000 m<sup>2</sup>.

A FLAMA S.A., foi fundada com o objetivo de transformar loiças metálicas, mais tarde dada a visão empreendedora dos administradores decidiram alargar os objetivos e surgiu a FORMAPLAS, industria transformadora de plásticos, trabalhando tanto com plásticos como com termoendurecíveis, sendo, assim uma das poucas empresas em Portugal que trabalha com *baquelite*. Este grupo revela um grande investimento na área do design, pesquisa e inovação. Hoje em dia, a área de negócio não é apenas as loiças metálicas, mas também pequenos eletrodomésticos com a marca FLAMA ou para marcas conhecidas mundialmente como são os casos da Philips, Tefal, Bodum, Delta, entre outros. Os produtos mais comuns nesta empresa são grelhadores, máquinas de café, torradeiras. Sendo que alguns destes equipamentos possuem componentes injetados em *baquelite*.

## 1.2 - CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O tema desta dissertação teve como objetivo primordial responder à necessidade da empresa, sendo ele um problema no departamento de injeção de termoendurecíveis (neste caso o *baquelite*). A produção de *baquelite* enfrentava vários problemas na injeção de tabuleiros para grelhadores. Assim com a ajuda do engenheiro de produção e o departamento de qualidade, utilizaram-se as ferramentas da qualidade, diagrama de Ishikawa e diagrama de Pareto, para se apurarem as variáveis envolvidas no processo e depois aprofundar para se chegar à raiz do problema.

Os principais objetivos desta dissertação consistiram em identificar as propriedades da matéria-prima a controlar, as variáveis de processamento e compreender os diferentes defeitos no produto final para se elaborar um mapa de ação reação, para a resolução dos mesmos.

### 1.3 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação contém 6 grandes capítulos sendo eles a introdução, tecnologia de polímeros, métodos de avaliação, Desenho de Experiências e Otimização pelo método RSM, discussão e análise de resultados e as conclusões. Na introdução, faz-se a apresentação da empresa onde foi realizado o trabalho e uma breve contextualização do tema integrando-o na engenharia química e descreve-se os objetivos propostos.

No capítulo seguinte são abordados os princípios químicos deste processo, tais como a classificação e características do polímero utilizado, os diferentes tipos de tecnologia envolvida na moldação e as características do processamento de *baquelite*.

No terceiro capítulo, métodos de análise e resolução, são apresentados os métodos utilizados neste trabalho, sendo eles as 7 ferramentas da qualidade, útil na identificação do problema e na avaliação por tipo de defeito das peças rejeitadas, o desenho fatorial de experiências, utilizado para gerar as matrizes de ensaios e a otimização por resposta de superfície utilizada para o tratamento dos resultados dos ensaios efetuados.

Na avaliação do sistema de injeção, quarto capítulo, é analisado o sistema de injeção, identificado o problema e são apresentadas em subcapítulos as variáveis envolvidas neste processo e que vão ser alvo de estudo e alterações.

O quinto capítulo é onde se apresentam os resultados de todos os ensaios efetuados e alterações na ferramenta, nomeadamente a análise dos rejeitados na primeira fase do projeto, os ensaios com matérias-primas com propriedades diferentes, recalibração dos canais de injeção, a realocação das sondas, bem como o acerto dos parâmetros introduzidos na máquina, tais como a temperatura da câmara, a pressão e velocidade de dosagem e injeção, a distância de degaseificação e o tempo de cura.

Por último, o capítulo seis apresenta as conclusões de todos os estudos e ensaios feitos ao longo de toda esta dissertação.

## 2 – TECNOLOGIA DE POLÍMEROS

Neste capítulo faz-se uma abordagem à química e processamento envolvidos no projeto em estudo. No que diz respeito à química faz-se a classificação da matéria-prima, as suas propriedades e variantes. Quanto ao processamento são descritos os processos mais comuns para a moldação de polímeros.

### 2.1 - MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada neste processo de injeção é o polifenol, na indústria mais conhecido por baquelite[1], [2]. Este polímero pertence à família dos termoendurecíveis e é obtido pela policondensação do fenol com o formaldeído. As resinas fenólicas são consideradas o primeiro polímero sintético a ser produzido comercialmente. Leo Baekland um químico Belga residente nos Estados Unidos começou a sua pesquisa em 1907 concluindo-a em 1909. Na Figura 1, está representada a estrutura do monómero em questão[1].

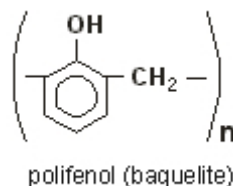


Figura 1 - Monómero de Baquelite [3]

Dependendo da proporção de fenol ou formaldeído e do tipo de catalisador utilizado formam-se resinas com diferentes características.

O polifenol pode ser obtido por duas vias, a alcalina e a ácida.

#### 2.1.1 - Propriedades dos termoendurecíveis

Os polímeros termoendurecíveis têm características tais como: resistência a altas temperaturas, resistência à chama, elevada dureza e boas propriedades elétricas que ajudam na sua escolha para a produção de determinados produtos, como por exemplo, rádios,

telefones, asas e botões para painéis, tal como mostra a figura 2. Este tipo de plásticos moldam-se por aquecimento, isto é, são injetados diretamente no molde sendo que este possui resistências que mantêm o material quente durante um período de tempo até que este fique rígido. Devido à conjuntura económica uma das propriedades mais importantes que estes possuem é serem de baixo custo. Este tipo de polímeros são também resistentes a altas temperaturas, isolantes elétricos, fortes e o seu índice de auto extingüibilidade é elevado[4],[1].



Figura 2 - Exemplos de produtos com peças injetadas em baquelite

### 2.1.2 - Fenol e Formaldeído

O fenol é um composto orgânico, constituído por um anel aromático ao qual se liga um grupo hidroxil, este é um composto cristalino branco com um ponto de fusão baixo, cerca de 41°C, possui duas posições reativas, a posição orto e a para, é solúvel em água sendo que a sua densidade é de 8,3 g/mL.[4]

O formaldeído porém, à temperatura ambiente, é um gás incolor e tem uma característica notória, o seu odor irritante. Este é um precursor muito importante para

muitos outros materiais e compostos químicos. A solução comercial utilizada na produção de resinas fenólicas é conhecida como formol. Este é produzido industrialmente através da oxidação catalítica do metanol, utilizando como catalisador mais comum a prata, este opera a 650°C.[4]

### 2.1.3 - Tipos de resinas formadas pelas diferentes policondensações

Existem vários tipos de resinas produzidas a partir de policondensações, destacando-se as seguintes:

#### Resóis

Os resóis, são obtidos através da reação de fenol com excesso de formaldeído (1:1.5) na presença de um catalisador alcalino, geralmente amônio ou hidróxido de sódio, a estrutura química destes é apresentada na figura 3. Neste caso a formação de álcoois fenólicos é rápida, mas a condensação é lenta [2], [4], [5][6]. Existe uma tendência para a formação de polialcoois, tal como monoalcoois [4][2][5].

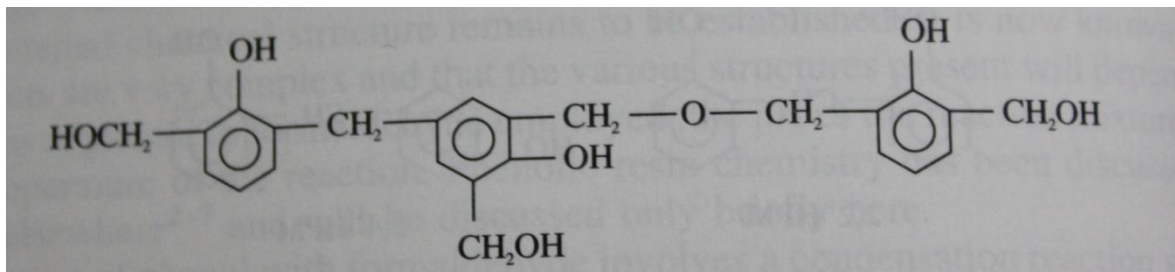


Figura 3 - Estrutura comum dos resóis [2].

Os resóis são muito utilizados para colar materiais de construção, como por exemplo termolaminados de alta pressão. São também conhecidos por resinas de um passo que curam sem agente de reticulação.[2][4][5][6].

## Novolacas

As novolacas são resinas preparadas reagindo o fenol com o formaldeído em que o rácio de formaldeído comparado com o fenol é de 1:0,8. A polimerização ocorre usando um catalisador ácido, como por exemplo o ácido oxálico ou o ácido hidrocloreídrico, sendo esta uma reação lenta. Estas resinas não contêm grupos metil reativos e não formam estruturas com ligações cruzadas quando aquecidas, é então utilizada a hexametilenotetramina, composto capaz de formar pontes de metileno, como endurecedor para a reticulação da novolaca. Esta polimerização comparada com a dos resóis é mais fácil de controlar e a sua rede tridimensional mais apertada oferece melhores propriedades[4][2][5][6].

A estrutura da novolaca é apresentada na figura 4.

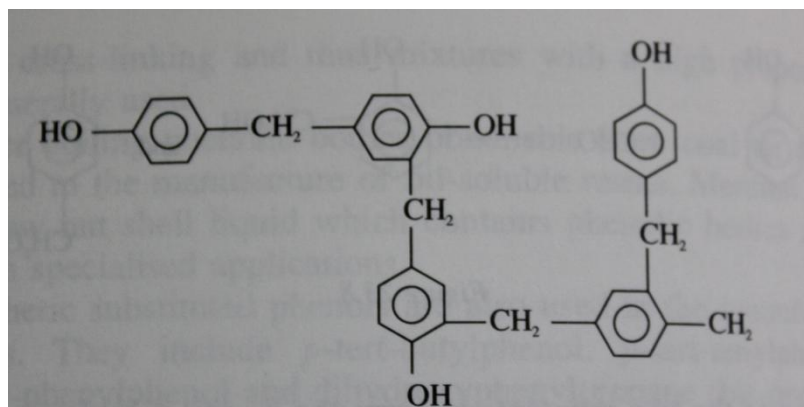


Figura 4 - Exemplo típico da estrutura de uma Novolaca [2].

### 2.1.4 - Composição dos compostos fenólicos de moldação

Os compostos fenólicos de moldação não são constituídos apenas pelo polímero, isto é, possuem cargas, que podem ser de vários tipos [2][4][6].

De um modo geral a composição do pó de moldação é feita pela resina fenólica, geralmente uma NOVOLACA, por hexametilenotetramina (HTMA), catalisador, agentes de enchimentos e agentes de reforço, corantes e pigmentos, lubrificantes e agente de desmoldagem [2][4][6].



A tabela 1 mostra as percentagens mais comuns deste produto.

Tabela 1- Composição geral de um composto fenólico de moldação [4]

PRODUTO	PERCENTAGEM (massa)
NOVOLACA	42
HEXAMETILENOTETRAMINA	6
CATALISADOR	1
CARGA VEGETAL	43
CARGA MINERAL	5
LUBRIFICANTES E AGENTES DE REFORÇO	1
CORANTES	2

## 2.2 - PROCESSAMENTO

O processamento de polímeros pode ser classificado em cinco grandes categorias, a extrusão, moldação, fiação, calandragem e revestimento. O processo mais utilizado é a extrusão. A moldação é geralmente um processo descontínuo, principalmente na injeção e compressão. Outro método de processamento importante é a fiação, utilizado nas indústrias têxteis, tal como a calandragem e a deposição de revestimento orgânico sobre folhas de plástico, sendo estes menos usuais[7].

### 2.2.1 - Extrusão

Nos finais do século dezoito foi usada pela primeira vez em Inglaterra a forma de extrusão, de forma a tirar peças perfeitas, sem costuras. Em 1845 foram extraídos os

primeiros fios e tubos por este método, sendo que os primeiros cabos submersos em todos os canais Ingleses foi um condutor de cobre isolado, sendo esta a primeira operação de revestimento de fio comercial. Extrusões de parafusos foram desenvolvidas na segunda metade do século dezanove e os parafusos duplos apareceram em 1930[7].

A extrusora e o molde são os dois principais componentes da operação de extrusão, ver figura 5. Este consiste numa tremonha e no barril de extrusão. A tremonha contém a resina, por norma em forma de granulado ou pó. O barril de extrusão pode ser dividido em três secções com base na sua função: alimentação, compressão e medição. Na secção da alimentação, o transporte da alimentação de sólidos é feita por um parafuso rotativo a partir da tremonha para a zona de compressão, onde a resina começa a derreter pela ação de resistências elétricas que se encontram ligados ao tambor. Quando a resina atinge a zona de medição, toda ela está derretida e, pela ação de corte do parafuso rotativo contra a parede interior do barril de extrusão, a resina é forçada a sair da extrusora pelo molde, que vai dar a forma desejada a resina. Após o extrudado sair do molde, é arrefecido e cortado ao comprimento desejado[7].

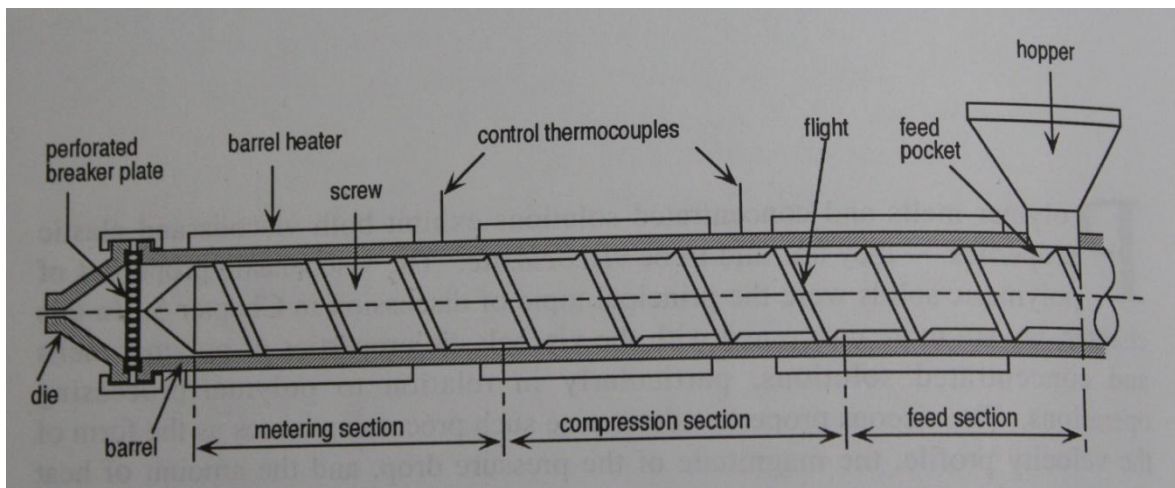


Figura 5 - Desenho de uma máquina de extrusão [7].

## 2.2.2 – Moldação

A moldação de termoendurecíveis pode ser feita por várias técnicas, são elas:

### Moldação por compressão

A moldação por compressão é a operação de processamento de polímeros mais simples e menos dispendiosa. No decorrer do século dezanove, nos Estados Unidos da América e em alguns outros países, foram utilizados processos de moldação por compressão por forma a obter peças de borracha. Em 1907 Leo Baekeland, desenvolveu um processo de moldação por compressão por forma a produzir fenol-formaldeído (*baquelite*)[7].

Atualmente, moldação por compressão e moldação por transferência são os principais métodos de moldação de termoplásticos, resinas fenólicas, resinas alquídicas e poliésteres insaturados. A moldação por compressão é utilizada preferencialmente para a moldação de grandes peças visto que com os outros métodos o custo é mais elevado[7].

O processo consiste em primariamente colocar a resina na metade inferior do molde, previamente aquecido, de seguida coloca-se a metade superior do molde sobre a metade inferior e é aplicada pressão para que a resina fundida preencha completamente a cavidade do molde, enquanto o excesso de resina é forçado a sair pelos laterais do molde, denominando-se rebarba, ver figura 6 [7].

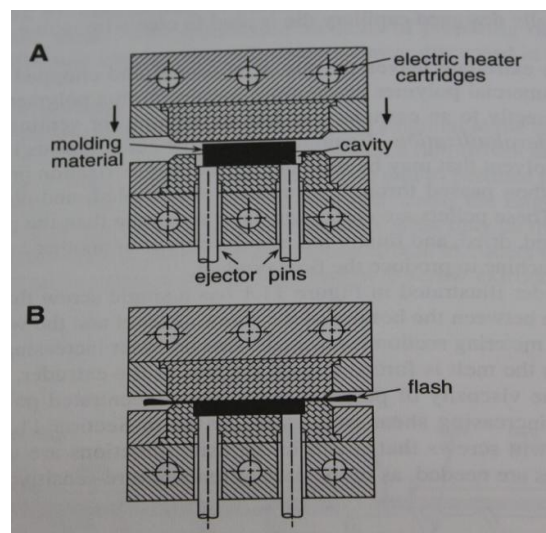


Figura 6 - Processo de moldação por compressão [7].

### Moldação por transferência

No processo de moldação por transferência, o molde é fechado previamente à entrada da resina, ou seja, após o molde estar fechado, é utilizado um êmbolo por forma a forçar a entrada de uma quantidade de resina fundida, previamente determinada, através de uma pequena abertura no molde, como demonstra a figura 7. Posteriormente o molde é aberto e, são utilizados ejetores para empurrar a parte moldada para fora do molde. O excesso denomina-se de refugo.[7]

Este tipo de moldação tende a ter um ciclo mais curto que a moldação por compressão visto que a temperatura do molde é superior fazendo com que o polímero previamente derretido flua melhor pelo molde, por norma com pressões menos elevadas. Por isso, a moldação por transferência é utilizada para moldar peças com geometrias complexas, peças frágeis ou quando é utilizado um inserto no molde.[7]

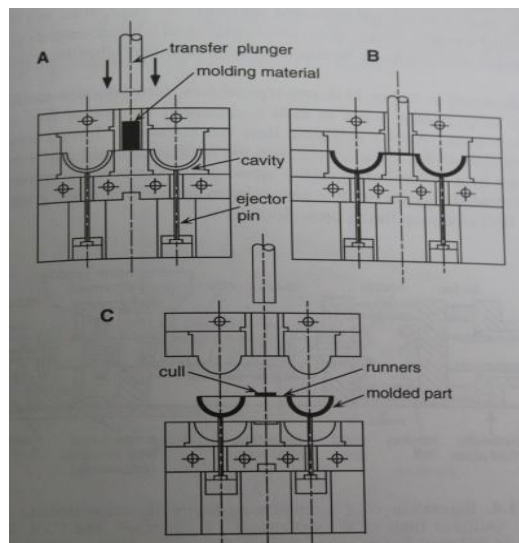


Figura 7 - Operação moldação por transferência [7].

## **Moldação por Injeção**

A moldação por injeção é outro processo importante no processamento de polímeros. Foi em 1856 que nos estados Unidos da América se iniciou o processo de moldação por injeção, que consistiu no desenvolvimento de uma máquina de fundição que forçava o metal fundido dentro de um molde, recorrendo a meios hidráulicos ou mecânicos. O aparecimento de máquinas de moldação por injeção deveu-se á escassez de marfim durante a guerra civil, tendo sido na altura oferecida uma recompensa a quem produzisse um substituto satisfatório ao marfim. Assim, em 1869 em Boston, John Wesley Hyatt inventou o material celuloide (nitrato de celulose) de forma a substituir o marfim. A celuloide foi a primeira resina sintética tendo sido utilizada para produzir diversas coisas. Posteriormente em 1872 John e Isaiah patentearam um dispositivo de extrusão simples que consistia num cilindro de vapor aquecido, de êmbolo hidráulico, e bucal de descarga para extrair hastes e tubos de nitrato de celulose.[7]

Uma unidade de moldação por injeção moderna, como está representada na figura 8, utiliza um parafuso alternativo para fundir um determinado volume de alimentação que é introduzida pela tremonha. Após decorrido algum tempo, forma-se uma massa fundida homogénea e cessa a rotação do parafuso, sendo que o material fundido colide com o molde a alta pressão por ação hidráulica impulsionando o parafuso.[7]

A moldação por injeção pode ser utilizada para produzir uma peça única, como o teclado de um computador ou para produzir várias partes menores simultaneamente, tais como os modelos de aviões de plástico de montar. Canais de alimentação é o nome dado às seções através das quais a resina fundida é forçada a partir do injetor da máquina de moldação por injeção e entra pela primeira vez no molde. Através destes canais, o material fundido é empurrado e distribuído uniformemente distribuem para cada cavidade do molde. O ponto estreito de fixação da calha para a cavidade do molde é denominado de gito. Depois de o molde estar completamente preenchido, é arrefecido e aberto para proceder à operação de moldação. Os moldes têm de ter capacidade de suporte de pressões e temperaturas elevadas e produzir peças com tolerâncias próximas após rápidas e numerosas operações. Por tudo isto, deve-se ter muito cuidado no design e fabrico dos

moldes, até porque isto representa uma despesa significativa de capital, o que contribui significativamente para o valor total da peça moldada.[7]

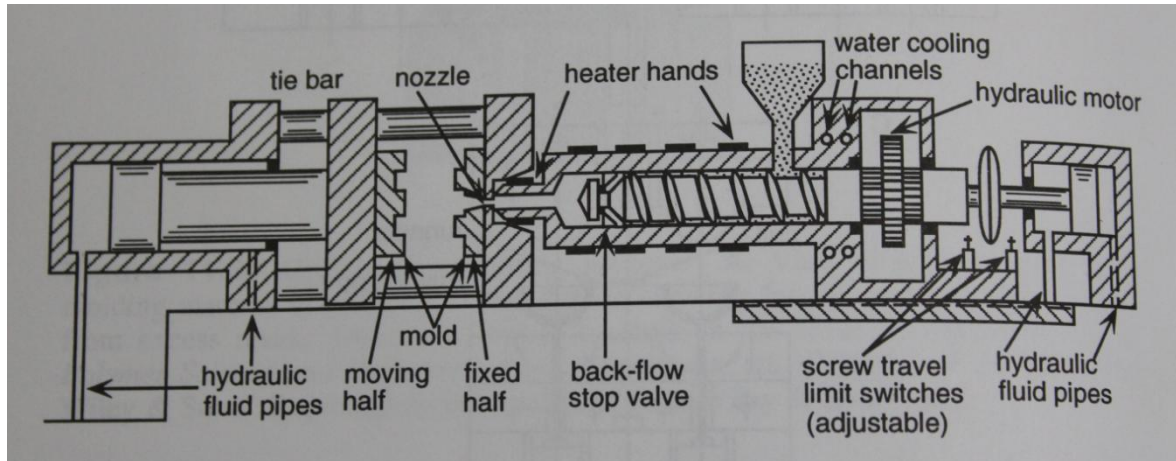


Figura 8 - Exemplo de máquina de injeção [7].

### Calandragem

A Calandragem é outro processo, em adição à extrusão, que pode ser utilizado para produção de peças de plásticas. Através de uma pequena folga (região de aperto), como se pode verificar na figura 9, o polímero fundido é comprimido entre dois cilindros aquecidos que giram em sentidos opostos.[7]

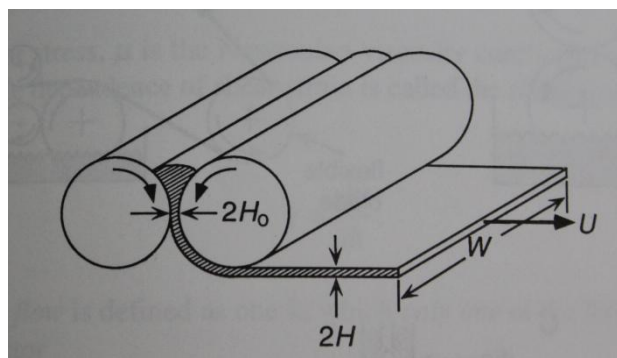


Figura 9 - Processo de calandragem [7].

### 2.2.3 - Características do processamento

Os compostos fenólicos no passado eram maioritariamente processados por compressão e transferência sendo também uma pequena parte por extrusão. A moldação pelo processo de injeção foi adaptada para termoendurecíveis e agora é significativamente utilizado, mesmo sendo numa menor percentagem relativamente aos processos tradicionais[2].

Existem vários tipos de composições do pó de moldação diferenciando-se entre si na natureza das cargas utilizadas, sendo que os de carga vegetal e mineral são geralmente fabricados na forma de pó e os com cargas de fibra têm uma textura macia-grumosa. O composto de moldação existe em vários tipos de granulação. No caso de se utilizar moldes com polimento de alto brilho os grãos da matéria-prima devem ser muito finos, pois neste caso o caudal de alimentação é limitado. Se o molde precisar de um fluxo elevado, então deve-se utilizar um pó mais “grosso”, para se obter um aspeto final aceitável. [2]

Resinas em que a cura seja através da evolução dos compostos voláteis, a compressão é utilizada usando pressões de moldação na ordem dos 15- 30 MPa a 155- 170°C. No caso de se usar moldação por transferência as pressões são geralmente um pouco mais elevadas 30- 120 MPa. Tal como nos outros materiais termoduros o aumento da temperatura tem dois efeitos, sendo um deles a redução da viscosidade da resina e o outro o aumento do tempo de cura. Como resultado de ambos efeitos o gráfico da figura 10 demonstra que existe uma temperatura de fluidez máxima.[2]

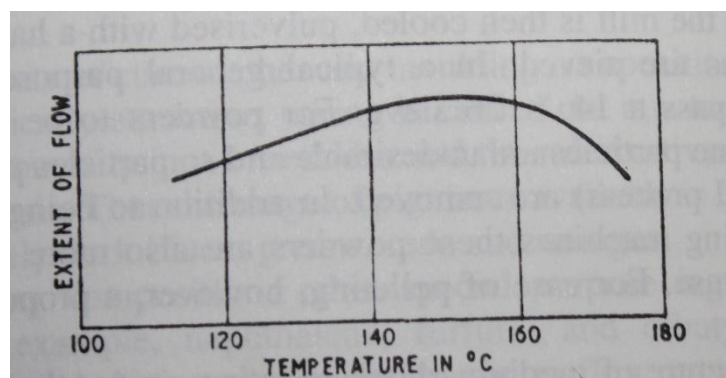


Figura 10 - Gráfico da evolução da fluidez com a temperatura [2].

Não existe um processo completamente satisfatório que permita aumentar a fluidez. No teste de escoamento BS 2782 é adicionada uma determinada quantidade de pó ao molde para se obter cerca de 2 a 2,5g de rebarba, a prensa é então fechada a uma temperatura e pressão fixa é também registado o tempo desde que se inicia a pressão até cessar. Este tempo é utilizado para o cálculo da viscosidade, isto é, este é o tempo necessário para se deslocar determinada quantidade de material numa distância fixa. Esta propriedade, comprimento de escoamento ou volume do fluxo, deve ser medida por outro dispositivo tal como o teste de fluxo de Rossi- Peakes ou o disco de fluxo, não sendo estes totalmente satisfatórios. Os tempos de escoamento devem rondar os 10-25 segundos, se medido pela especificação BS. Os pós de moldação são frequentemente classificados como sendo de fluxo duro se o tempo for superior a 20 segundos, fluxo médio para tempos entre 13 e 19 segundos e fluxo suave para tempos inferiores a 12 segundos.[2]

O rácio da densidade de moldação em relação à densidade aparente do pó geralmente deve ser de 2 a 3.[2]

As composições de moldação de fenol-formaldeído podem ser pré aquecidas por métodos de alta frequência sem dificuldade. O pré-aquecimento por esta ou outra técnica reduz o tempo de cura, a reticulação e a pressão de moldação. Para além disso o pré-aquecimento vai também aumentar o fluxo do material, com uma consequente redução do desgaste do molde e dos postigos ficarem danificados.[2]

A reticulação na moldação é na ordem dos 0,005- 0,08 in/in. Materiais com uma elevada carga mineral têm uma reticulação menor, embora certos tipos de resinas modificadas, tais como as resistentes a ácidos ou as com valores mínimos de odor podem ter uma maior reticulação.[2]

O tempo de cura depende em grande parte do tipo de pó utilizado, a temperatura de moldação, o pré-aquecimento e o mais importante, a utilização final prevista para a peça. O tempo necessário para se ter as propriedades de isolamento elétrico necessárias pode não coincidir com esperado. Para efeito de comparação pode se usar o teste BS 771 para se obter o tempo mínimo para uma moldação livre de bolhas. No caso de materiais normais, este teste tem um tempo de cerca de 60 segundos, que pode ser duas vezes superior para usos especiais.[2]



Uma desvantagem dos termoendurecíveis que existiu durante muitos anos é que para o caso dos termoplásticos o processo é mais facilmente automatizado do que para a moldação por compressão dos termoduros. Com o desenvolvimento das máquinas de injeção de um só parafuso, este equipamento tornou-se disponível o que facilitou a moldação de termofixos por injeção. Nesta adaptação, os grânulos de material são cuidadosamente aquecidos na câmara de modo a não reticular antes de entrar na cavidade do molde. O molde é, no entanto, aquecido até a temperatura de cura, para que quando este estiver completamente cheio o tempo de cura seja o menor possível, em equilíbrio com a garantia da obtenção das propriedades desejáveis do produto final. A tabela 2 apresenta as condições típicas de moldação por injeção.[2]

Tabela 2 - Condições típicas da moldação por injeção.[2]

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
<b>Temperatura de Fusão</b>	110-140 °C
<b>Temperatura da Câmara</b>	65-90 °C
<b>Temperatura do Bico</b>	85-120 °C
<b>Temperatura do Molde</b>	165-195 °C
<b>Pressão de Injeção</b>	85 – 220 MPa
<b>Contrapressão</b>	<7 (tipicamente 1) MPa
<b>Velocidade do Parafuso</b>	65-85 rpm
<b>Tempo de Cura</b>	15-80 s

Para se obter um bom controle da temperatura no cilindro é necessário um bom fluido de transferência de calor, este pode ser aquecido por um sistema de aquecimento adjacente ou mais frequentemente através de resistências elétricas colocadas na própria câmara. Podem ser utilizados bicos especiais de controle de temperatura para evitar que a temperatura do material se altere e assim prejudique a injeção, estes geralmente são aquecidos por resistências elétricas. Muitas das máquinas disponíveis hoje em dia estão preparadas para ser alteradas de termoplásticos para termoendurecíveis, sendo apenas necessária a troca de bico e parafuso. Para plásticos termoendurecíveis por vezes os parafusos têm uma taxa de compressão baixa e são refrigerados através de água.[2]

Existe uma controvérsia sobre o mérito relativo da compressão, transferência e moldação por injeção. Ambos os métodos de injeção e transferência quando comparados com a compressão são vantajosos devido à fácil automatização, moldação livre de rebarba, têm um melhor acabamento superficial, é mais fácil moldação de zonas de espessura reduzida e é possível aumentar a taxa de cura através do calor por atrito. A moldação por injeção é ainda mais vantajosa do que a por transferência. A moldação por injeção pode ser muito mais rápida do que por compressão sendo por vezes o ciclo reduzido a cerca de um sexto do tempo por compressão.[2]

No entanto existem também desvantagens no processo de moldação por injeção. Os equipamentos de injeção são mais dispendiosos e de maior envergadura do que os de compressão, para tamanhos idênticos de moldes. Pode também existir desvantagens técnicas. No caso de moldações com paredes muito finas se a moldação não for cuidadosa o produto final pode não apresentar as propriedades mecânicas desejadas. A estabilidade dimensional durante o arrefecimento da peça é menor, isto é, está sujeita a deformações maiores. A seleção entre compressão e moldação por injeção deve ser feita cuidadosamente, embora exista sempre uma tendência para a injeção.[2]

As composições do pó de moldação por injeção têm uma série de requisitos em relação às características de cura e granulometria, que nem sempre são respeitadas pelas fórmulas mais comuns, por exemplo os grânulos devem ser de fluxo livre (distribuição uniforme das partículas por tamanhos). [2]

Em relação à viscosidade existem também vários requisitos para serem respeitados. Esta deve atingir rapidamente um valor adequado no aquecimento no cilindro, não deve ser demasiado elevado, pois assim dificulta o enchimento do molde, sendo que também não pode ser demasiado baixa de modo a que o calor gerado por atrito seja demasiado baixo. Assim o composto deverá possuir uma boa estabilidade à temperatura de fusão, mas deve curar tão rápido quanto possível às temperaturas que estão no molde.[2]

## 3 – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO E RESOLUÇÃO

### 3.1 – AS SETE FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Um dos aspetos fundamentais da Gestão da Qualidade é a melhoria contínua das atividades, processos e produtos tendo como base as exigências e objetivos das partes envolvidas[8][9][10].

O ciclo PDCA (Plan- Do- Check- Act, Planear, Executar, Controlar, Agir) proposto por Edwards Deming, é sem dúvida uma das melhores ferramentas para a melhoria contínua. A resolução de problemas existentes baseia-se nos passos deste ciclo e é genericamente constituída pelas seguintes fases[8][9][10]:

- Identificação do problema
- Análise do problema
- Resolução do problema

Durante o século XX foram desenvolvidas 7 Ferramentas da Qualidade, que de uma forma simples contribuem para a resolução estruturada da generalidade dos problemas, contribuindo assim para a melhoria contínua de todo o tipo de organizações sejam elas industriais ou não. As várias ferramentas da qualidade têm utilizações diferentes, isto é, são utilizadas em diferentes fases da melhoria[8][9][10].

Consegue-se tirar um maior proveito destas ferramentas trabalhando em equipa, isto é fazendo um brainstorming. O “brainstorming” assenta em dois princípios sendo eles, o atraso do julgamento e a criatividade em quantidade e qualidade. Este método de trabalho rege-se por três fases: primeiro os membros do grupo de trabalho apresentam as suas ideias; segundo é feita uma revisão das ideias anteriormente expostas, eliminando-se, eventualmente, algumas; por fim é feita uma nova seleção das ideias, esta mais refinada e é feito um agrupamento por prioridades[8][9][10].

As sete Ferramentas da Qualidade são:

- Fluxograma;
- Histograma;
- Diagrama de Pareto;
- Diagrama de Ishikawa;
- Diagrama de Dispersão;
- Cartas de Controlo;
- Folhas de Registo e Verificação;

### **3.1.1 - Fluxograma**

O fluxograma é uma ferramenta que mostra de forma sequenciada e ordenada, as diferentes etapas, entradas e saídas para a realização do projeto em estudo, utiliza também uma simbologia própria com carácter universal que deve ser respeitada[8].

### **3.1.2 - Histograma**

O histograma é um gráfico de barras dividido por classes que permite perceber a frequência de ocorrência de cada causa[8].

### **3.1.3 - Diagrama de Pareto**

Este diagrama baseia-se no princípio de Pareto, que corresponde a um gráfico de frequências que representa a participação relativa de cada causa do problema em estudo. Esta ferramenta permite facilmente concluir quais as causas com maior ocorrência e assim estabelecer um plano de ação que se baseia nestas causas, dando menos importância às que possuem uma menor taxa de ocorrência[8].

### **3.1.4 - Diagrama de Ishikawa**

O diagrama de Ishikawa, Causa-e-Efeito ou de Espinha-de-Peixe, apresentado na figura 11 é uma das ferramentas da qualidade utilizadas quando existe um problema já identificado e se quer fazer um estudo mais aprofundado dessa questão, analisando as variáveis intervenientes no processo, esta é uma ferramenta de trabalho em grupo. Este

diagrama foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa em 1943, este relaciona graficamente as causas com os problemas que as mesmas proporcionam[8].

A construção deste diagrama passa geralmente por cinco grandes fases:

1. Definição clara do problema;

Nesta fase define-se o problema o mais objetivamente possível[8], [11].

2. Identificar as causas do problema;

Em análises de produção o mais normal é considerarem-se 6 categorias, que se revelam mais adequadas à maioria dos problemas existentes, sendo elas: Mão-de-obra, Métodos, Meio Ambiente, Máquinas, Materiais e Medições[8], [11].

As causas relativas a um problema podem ter uma classificação diferente, isto é vários níveis, em que a sua classificação vai depender do maior ou menor detalhe da análise efetuada pela equipa[8], [11].

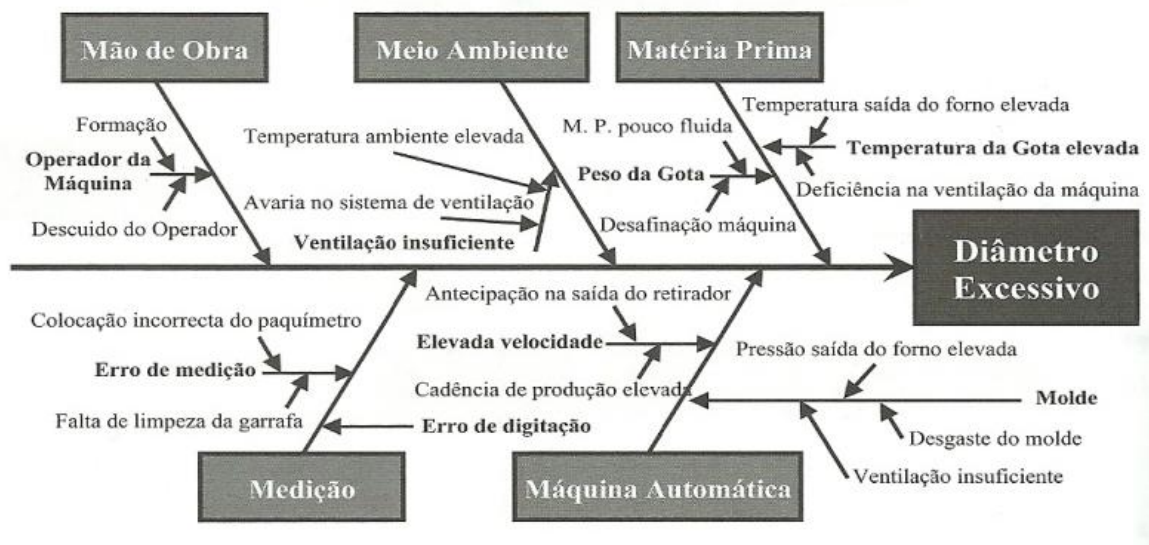


Figura 11 - Diagrama de Causa-e-Efeito[8].

3. Selecionar as causas mais prováveis;

Depois do diagrama preenchido, segue-se para a análise deste para se apurar quais as causas que terão maior probabilidade de estar na origem do problema[8], [11].

4. Definir e implementar ações corretivas;

Seguidamente são definidas as ações corretivas com a finalidade de eliminar as causas do problema [8], [11].

5. Avaliar a eficácia das ações implementadas;

Por fim deve-se avaliar a eficiência das ações implementadas e divulgar-se os resultados [8], [11].

### **3.1.5 – Diagrama de Dispersão**

O Diagrama de dispersão é uma ferramenta que ajuda a visualizar a relação entre duas variáveis, X e Y, através de um gráfico cartesiano. Podendo ser relacionadas através de uma relação linear[8].

### **3.1.6 – Cartas de controlo**

As cartas de controlo são ferramentas poderosíssimas utilizadas no controlo de processos. Estas podem ser utilizadas diretamente pelos operadores nos seus postos de trabalho e assim fornecem informações que podem desencadear ações corretivas[8].

### **3.1.7 - Folhas de Registo e Verificação**

As folhas de registos e verificação, ou formulários de recolha de dados, permitem agrupar fácil e rapidamente toda a informação considerada importante relativamente a qualquer processo. Esta ferramenta ajuda na obtenção de uma solução que assenta em factos objetivos e não em opiniões subjetivas. Para serem eficazes devem ser simples de modo a não ser necessário pessoal especializado para a sua utilização[8].

Ao longo deste trabalho as ferramentas da qualidade utilizadas foram os diagramas de Ishikawa e o de Pareto. O diagrama de Ishikawa foi utilizado para reunir todas as variáveis envolvidas no processamento de chapas de baquelite enquanto que o diagrama de

Pareto serviu para fazer o levantamento dos rejeitados por tipo de defeito, na primeira fase de ensaios.

### **3.2 – METODOLOGIA DE SUPERFÍCIES DE RESPOSTA (RSM)**

Na fase final deste trabalho pretendia-se uma otimização dos parâmetros de injeção, pois as variáveis pressão e temperatura têm uma influência direta no resultado final da injeção. É então importante estudar a influência de cada variável de forma simples e/ou bilateral, assim pretendia-se encontrar um modelo de resposta que permitisse realizar o estudo[12][13].

#### **3.2.1 – Desenho fatorial de experiências**

O desenho de experiência (DoE) é uma técnica experimental que contempla a sistematização de ensaios para cada variável alvo de estudo (designada fator) num processo e tem como objetivo identificar e determinar os efeitos destas [12][14].

A aplicação do DoE permite:

- Hierarquizar as variáveis influência na resposta;
- Discriminar que variáveis podem ser descartadas devido à menor influência na resposta final;
- Determinar o sentido da influência causado pelas variáveis em estudo, se no sentido favorável ou desfavorável relativamente aos objetivos do processo;

Para esta dissertação em específico utilizou-se o método de desenho fatorial de experiências, numa primeira fase com dois valores (designados níveis) e oito fatores diferentes e, na segunda fase do estudo estatístico (refinamento) utilizou-se um desenho fatorial de dois níveis e 3 fatores[13]. A fórmula de cálculo para este tipo de experiências a



dois níveis é  $2^k$ , em que o número dois representa os dois níveis e k é o número de variáveis envolvidas no processo a ser experimentado[12][15]. Para o caso do desenho fatorial ser com 3 níveis a fórmula é  $3^k$ , em que o k tal como no desenho a dois níveis é o número de fatores[12][16][15]. Geralmente os níveis são designados por alto (+) e baixo (-), quanto aos fatores são geralmente designados por  $x_1; x_2; x_n$ [12].

O desenho fatorial completo analisa os efeitos lineares (principais) e também as interações cruzadas entre todos os fatores intervenientes[17].

### 3.2.2 – Modelo de Superfície de Resposta (RSM)

O Modelo de Superfície de Resposta (RSM) foi desenvolvido por Box e Wilson em 1951 [18], [19]. Esta técnica foi aplicada com sucesso em várias áreas científicas e de pesquisa tais como a química, física, biotecnologia, ambiente, etc[19][18]. Este modelo é aplicado no desenvolvimento e formulação de novos produtos tal como em melhorias para produtos existentes[18].

Este modelo representa a junção de técnicas estatísticas e matemáticas que são úteis para a análise e modelação de casos em que a resposta é influenciada por vários fatores[18], [19]. Pode também ser usado para definir relações entre variáveis independentes, sozinhas ou em combinação no processo[18]. Para além de analisar os efeitos das variáveis independentes também permite ajustar uma expressão matemática em função dos mesmos, que na prática se traduz por um modelo empírico de base estatística, correlacionando os fatores considerados no estudo com os dados experimentais[18][13]. A relação entre a resposta e os fatores de entrada pode ser dada pela equação:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon \quad 1)$$

Para o caso do modelo linear com interações binárias e entre quadráticos a equação é do tipo:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i<j}^k \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i<j}^k \beta_{ij} X_i^2 X_j + \sum_{i<j}^k \beta_{ij} X_i^2 X_j^2 + \varepsilon \quad 2)$$

onde  $\beta_0$ ,  $\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$  e  $\beta_{ij}$  são os coeficientes do modelo,  $X_k$  representa as variáveis codificadas do processo e  $\varepsilon$  representa o erro associado ao sistema. As variáveis codificadas, são calculadas usando os valores reais na equação:

$$X_k = \frac{x_k - x_0}{\Delta x_k} \quad 3)$$

onde  $X_k$  representa o valor da variável codificada,  $x_k$  e  $x_0$  representam o valor real do ponto central e  $\Delta x_k$  representa o diferencial entre cada nível[16][20].

## ANOVA

A ANOVA explica a variância estatística do modelo, através de modelos polinomiais com um nível de confiança de 95% e os gráficos são usados para avaliar o *fitting* do modelo à situação física em causa[12][19][21][13].

### Teste de significância da regressão

O teste de significância da regressão é um teste para determinar a relação linear entre a variabilidade da resposta e as variáveis da regressão  $x_1, x_2, \dots, x_{1n}$ [12][13].

As hipóteses são:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ para pelo menos um } j \quad 4)$$

A rejeição de  $H_0$ , implica que pelo menos uma variável da regressão contribui significativamente para o modelo. Este teste é feito através de software de estatística, devido ao tempo disponível[12].

### **Fator de correlação $R^2$**

A qualidade do ajuste do modelo é expressada pelo valor do fator de correlação  $R^2$ , que representa a variabilidade da resposta obtida usando os parâmetros da regressão. Apesar de geralmente para valores superiores a 0,9 o ajuste ser considerado bom isto não é regra, pois a adição de parâmetros ao modelo aumenta sempre o seu valor [11][18][21][13].

O  $R_{ajustado}^2$  é obtido a partir do valor de  $R^2$ , mas é corrigido pelos graus de liberdade da regressão e dos resíduos. Este valor não é afetado pela adição de termos não significativos ao sistema, antes pelo contrário, a adição destes termos pode diminuir o seu valor. O valor entre estes coeficientes não dever ser muito diferente sob pena de se introduzir dados não significativos[12][13]



## 4 – AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE INJEÇÃO

Nesta dissertação estudou-se o processo de injeção de *baquelite*, baseado o estudo na qualidade das peças finais. Através das ferramentas da qualidade fez-se uma análise utilizando o diagrama de Ishikawa e à posteriori uma análise das áreas com ligação à engenharia química para se definir uma ordem de trabalhos por forma a descobrir a origem dos problemas e assim tomarem-se ações para atenuar ou eliminar os mesmos.

### 4.1 - IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

No início do projeto realizou-se um brainstorming com o intuito de juntar o maior número de variáveis intervenientes em todo o processo e de seguida fez-se uma seleção daquelas que poderiam ter um maior peso na obtenção das peças finais com qualidade. Depois de realizado este estudo juntaram-se as variáveis e classificaram-se segundo as regras da ferramenta da qualidade, diagrama de Ishikawa.

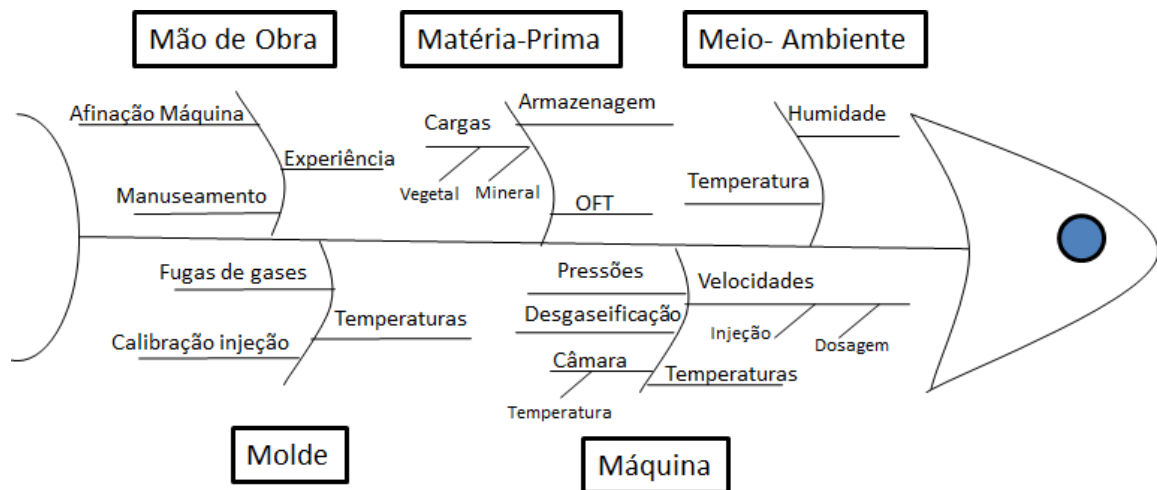


Figura 12 - Diagrama de Ishikawa para o processo.

Posteriormente foram analisados os cinco grandes grupos de variáveis identificados no diagrama de Ishikawa, figura 12. Com este objetivo, foi primeiramente intervencionada a ferramenta e depois feito um ensaio com o levantamento do número de rejeitados por

tipo de defeito. Esta informação permitiu a elaboração de um diagrama de Pareto, em consequência foram identificados os tipos de defeitos ocorridos durante os ensaios e a relativa causa.

#### 4.2 - BIBLIOTECA DE DEFEITOS

Foi elaborado um documento chamado biblioteca de defeitos em que se tem uma fotografia para cada tipo de defeito e uma breve explicação do que se trata. Os tipos de defeito encontram-se por ordem decrescente de frequência de ocorrência e distinguido em tabuleiro superior e inferior nas imagens 13 e 14 respetivamente.



Figura 13 - Biblioteca de defeitos tabuleiro superior



Figura 14 - Biblioteca de defeitos tabuleiro inferior

### 4.3 - DIMENSÕES

Na primeira fase do projeto verificou-se que a injeção não estava calibrada, isto é, a entrada de matéria-prima para ambas as cavidades não era proporcional ao peso das peças e era muito pequena para o tamanho da peça final. Para se melhorar este aspeto e assim facilitar a injeção fez-se um estudo começando com uma injeção completa e foi-se diminuindo a dosagem para através da percentagem do peso de cada peça para se perceber a evolução da injeção e assim abrir o canal de alimentação de forma proporcional para o fecho de ambas as cavidades ser em simultâneo.

Na análise às peças finais feita pelos diagramas de Pareto (ver capítulo 5, figuras 16 e 17) verificou-se que estas também apresentavam problemas dimensionais, sendo que representavam a maior percentagem de produto final não conforme. Partiu-se então para a implementação de gabaritos (conformadores) que foram maquinados através dos desenhos técnicos do molde, para que, durante o arrefecimento das peças fossem garantidas as dimensões consideradas obrigatórias, fornecidas nos desenhos técnicos das peças (Anexos 4 e 5).

#### 4.4 - TEMPERATURA

Na máquina, a temperatura na câmara e no bico são fundamentais serem controladas e garantir-se que se encontram dentro do valor estipulado pelas fichas técnicas da matéria-prima e que vai também de encontro aos valores pré-estabelecidos.

Quanto ao molde é crucial um controlo da temperatura em várias zonas para que a injeção seja beneficiada e se consiga eliminar as manchas nas peças. Fez-se um estudo para tomar uma decisão sobre como deveria ser distribuído o controlo de temperatura no molde.

#### 4.5 - TEMPO

O tempo é uma variável importante em vários pontos de todo este processo, desde o tempo de ciclo da máquina ao tempo de residência nos gabaritos.

O tempo de ciclo é afetado pela velocidade de injeção, dosagem e tempo de cura, portanto é necessário uma afinação que não comprometa o aspeto da peça mas que tenha um ciclo tão baixo quanto possível.

A residência nos gabaritos é o outro tempo importante para que as peças finais estejam de acordo com as cotas críticas e foi obtido através de ensaios experimentais.

#### 4.6 - MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima, *baquelite*, chega à empresa embalada em sacos de 1100Kg, provenientes da empresa espanhola Fenoquímica. É portanto feita a receção do material sendo verificado o certificado para conferir se este respeita as especificações exigidas pela empresa. O produto é então colocado num armazém próprio para a matéria-prima, sem que este tenha ambiente controlado, isto é, humidade e temperatura constante.

Os requisitos principais que a empresa exige serem controlados são o OFT (Índice de fluidez) e a volatilidade.

Para eliminar o problema das manchas foi ensaiada uma matéria-prima com uma carga mineral superior.



## 5 – DISCUSSÃO E RESULTADOS

O processamento de *baquelite* pode ser feito por vários métodos como foi referido no capítulo 2, nesta empresa o método utilizado é a moldagem por injeção, sendo que a grande maioria das peças injetadas são botões e asas para painéis. O grupo decidiu inovar e assim injetar peças de porte maior, é então que surge o projeto do grelhador 4591 FL.



Figura 15 - Imagens peças prontas, à esquerda o tabuleiro superior e à direita tabuleiro inferior

Na fase de ensaios da ferramenta existia uma grande dificuldade em se obter injeções completas, decidiu-se efetuar correções ao molde para se obter um maior controlo da injeção.

### 5.1 - CALIBRAÇÃO DA INJEÇÃO

Neste subcapítulo avaliou-se o desenho do molde e verificou-se através de injeções incompletas, consideradas meias injeções no meio industrial, que a injeção estava desajustada e que o tabuleiro superior, apesar de ter uma massa menor era mais difícil de encher, pois na zona de fecho da peça existia um estrangulamento do material.

Voltou-se a fazer o ensaio de meias injeções com várias dosagens, sendo que iniciou-se com a dosagem máxima, 250 mm o limite da máquina, até cerca de metade 140 mm, como se verifica na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios das meias injeções

Número da injeção	Dosagem (mm)	Peso moldação (g)	Peso grito (g)	Peso Superior (g)	% Superior	Peso Inferior (g)	% Inferior
1	250	888,5	45,5	385	46	457,5	54
2	240	844	42,5	352	44	449,5	56
3	230	805,5	42,5	331,5	43	431,5	57
4	220	778,5	42,5	338,5	45	418	55
5	200	627,5	42,5	277	47	308	53
6	200	724	39,5	293	43	391	57
7	180	717,5	39	306	45	372,5	55
8	160	644,5	41	272,5	45	331	55
9	140	557,5	27,5	235	44	294,5	56

O resultado médio foi de 45% para o tabuleiro superior e de 55% para o inferior. Analisando as diferenças entre o peso das peças superior e inferior entre a injeção 1, 2 e 3 verifica-se que a peça superior tem uma perda de peso relativamente maior, isto indica que na zona de fecho de ambas as peças a que tem maior dificuldade em encher é a superior, assim sendo decidiu-se favorecer o tabuleiro superior em relação ao inferior sendo que a área da seção reta de ambos os canais de alimentação ficaram iguais.

## 5.2 - RELOCALIZAÇÃO DAS SONDAS

Outro dos aspetos considerado muito importante é o controlo da temperatura no molde, pois como é descrito no capítulo 2 a temperatura do molde deve estar entre 165 e 195 °C. Neste caso em concreto a leitura de temperatura no molde é efetuada através de sondas do tipo j, como demonstra a Figura 16.



Figura 16 - Configuração inicial das sondas no molde.

Como se pode ver na Figura anterior a leitura era dada em apenas 4 pontos, dois na cavidade e dois no macho sendo que um era para a peça superior e outro para a peça inferior. Para se perceber se esta distribuição dos sensores de temperatura permite garantir a sua uniformidade utilizou-se uma câmara termográfica. Esta não devolve um valor exato da temperatura pois faz a leitura através de um laser e como o molde tem um polimento de alto brilho este reflete, no entanto é útil para observar se a temperatura por todo o molde é uniforme.

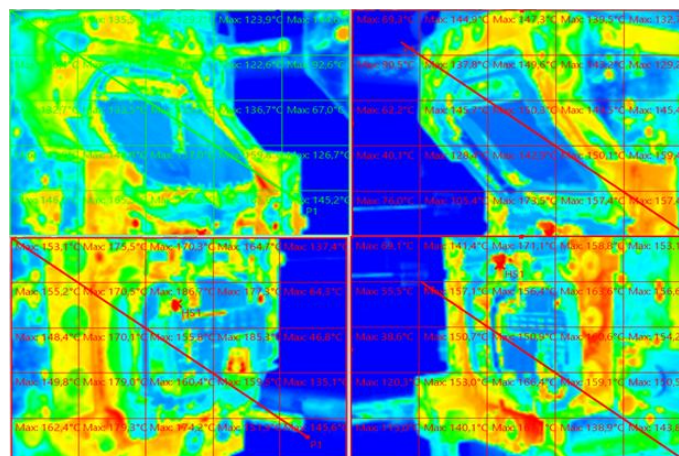


Figura 17 - Imagens termográficas.

Pelas imagens termográficas da figura 17 pode-se verificar que a temperatura no molde não era uniforme, existia um diferencial de 10 a 15°C entre as diferentes zonas, confirmado através de medições manuais com um termopar do tipo j, sendo impossível eliminar esta diferença controlando a temperatura com apenas uma sonda em cada peça.

Assim decidiu-se redesenhar a localização das sondas, e como a peça mais crítica é o tabuleiro superior acordou-se numa primeira tentativa, deixar o tabuleiro inferior com apenas uma zona de controlo e modificar apenas a peça superior, como se pode verificar na figura 18. Como a zona de fecho da peça é a pega do tabuleiro a decisão foi colocar uma sonda nessa zona do molde e outra na parte plana do tabuleiro; com isto pretendia-se garantir que a temperatura na parte plana e na pega era a desejada.

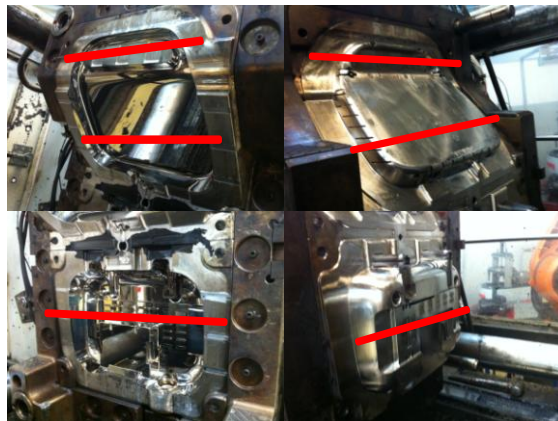


Figura 18 - Relocalização das sondas no tabuleiro superior.

Após a alteração no controlo de temperatura o molde foi colocado na máquina para se verificar se o aquecimento era uniforme e se a temperatura estabilizava no valor desejado.

### 5.3 - ESTUDO DO IMPACTO DA MATÉRIA-PRIMA

O OFT é um parâmetro que a empresa considera importante e é controlado, através de um certificado de análises que vem juntamente com a matéria-prima. Quanto maior for a fluidez melhor é a injeção mas também maiores são as contrações durante o arrefecimento, o que se pode traduzir em empenos nas peças finais. Assim foram realizados ensaios com matérias-primas com OFT desde 66 a 76% e verificou-se que o que melhor se adaptava a este projeto era entre 72 e 75. Com estes valores de fluidez a injeção era completa e as contrações no arrefecimento era mínimas.

Foi também utilizado um material com uma carga mineral superior, pois pela teoria apresentada no capítulo dois desta dissertação, é uma característica que diminui a

reticulação do material depois de injetado e nesse caso os resultados foram positivos, mas no que diz respeito ao brilho da peça já não se verifica o mesmo, pois a peça ficou com um aspeto mate, sem brilho, o que não é aceite pelo departamento de qualidade.

#### **5.4 - TEMPERATURAS DA CÂMARA E DO BICO**

Após a avaliação da taxa de rejeitados da primeira fase e analisando o tempo em que não se conseguia encher o molde verificou-se se as temperaturas da câmara e do bico respeitavam os valores apresentados no capítulo do processamento.

No caso da câmara a temperatura é controlada através de um termostato, que mantém a temperatura da água em circulação constante. Na prática este valor mantém-se entre os 65 e os 70°C.

O valor da temperatura da matéria-prima no bico já não está constantemente a ser lido pois não existe um equipamento acoplado à máquina que o permita fazer. Neste caso, o método utilizado é a realização de uma purga e a medição imediata utilizando um termopar, como se exemplifica na figura 19, e obteve-se um valor de cerca de 100°C.



**Figura 19 - Medição da temperatura da purga da matéria-prima para confirmar temperatura no bico da câmara**

### 5.5 - AVALIAÇÃO DO NÚMERO DE REJEITADOS NA 1ª FASE

Depois da injeção calibrada e da realocização das sondas voltaram a fazer-se novos ensaios, cerca de dez mil injeções. Nesta fase de ensaios cada peça foi analisada com o objetivo de se catalogar os defeitos para se apurar quais os tipos de defeitos mais relevantes e ações de melhoria.

Como é descrito na revisão bibliográfica desta dissertação as ferramentas da qualidade são o método ideal para o fazer, procedeu-se então à escolha da ferramenta mais adequada tendo-se decidido utilizar o diagrama de Pareto.

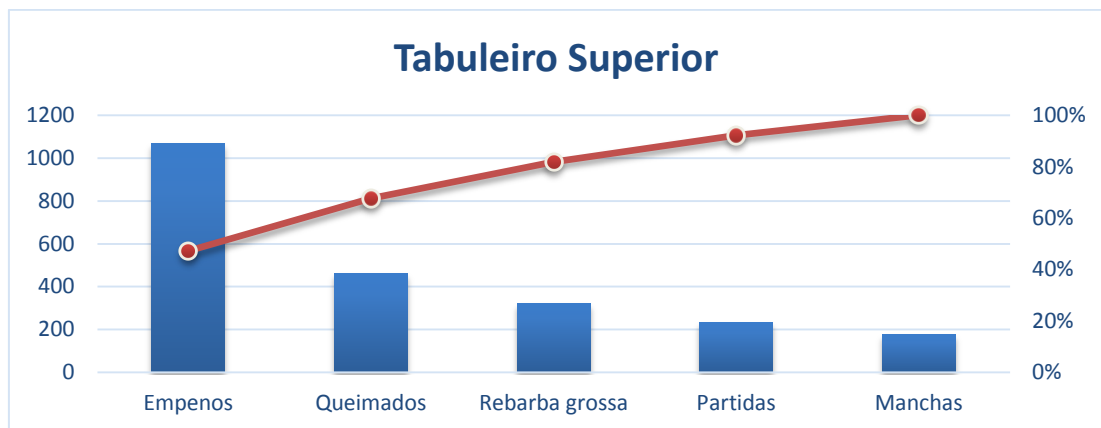


Figura 20 - Diagrama de Pareto referente à primeira fase com os rejeitados do tabuleiro superior

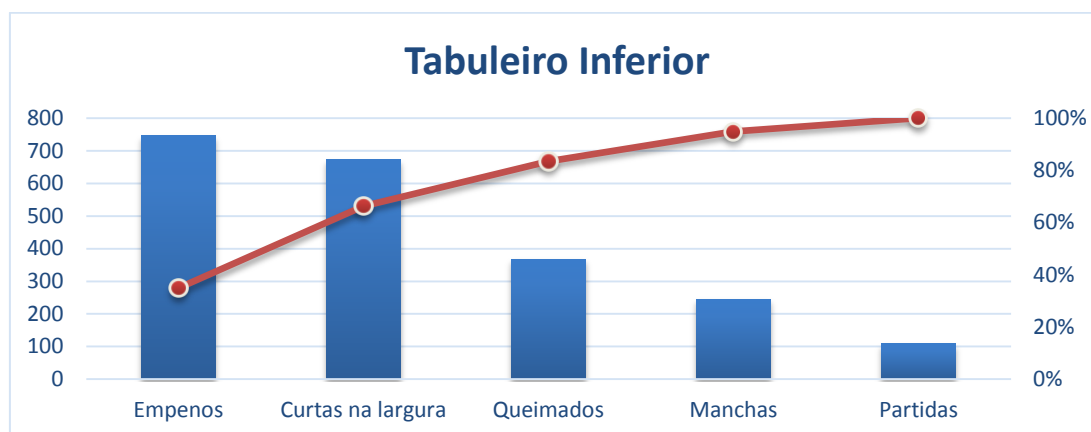


Figura 21 - Diagrama de Pareto referente à primeira fase com os rejeitados do tabuleiro inferior

A análise de ambos os diagramas (figura 20 e 21) fez com que se estabelecesse prioridades para eliminar o elevado número de peças não conforme.

## 5.6 - INTRODUÇÃO DE GABARITOS

Verificou-se que durante o arrefecimento, na reticulação, as peças apresentavam contrações em vários sentidos, sendo eles mais frequentes nas paredes mais finas, assim partiu-se para a utilização de conformadores ou gabaritos. Esta ferramenta tem o objetivo de garantir que durante a reticulação a peça não apresenta contrações nas zonas consideradas críticas. A maquinação destes gabaritos é feita a partir dos desenhos técnicos do molde, na figura 22 apresenta-se estas ferramentas.

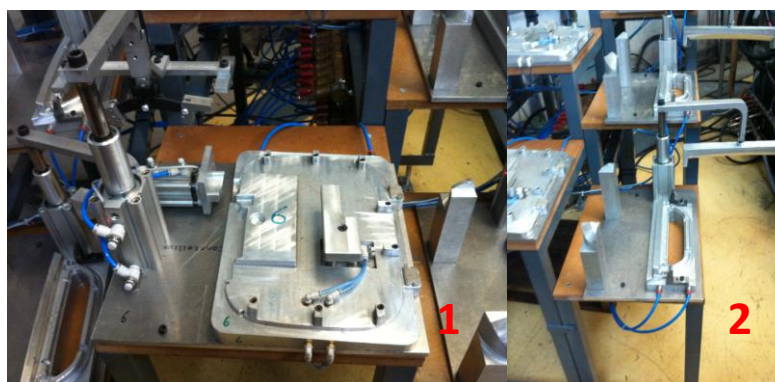


Figura 22 - Gabarito utilizado no arrefecimento das peças. Legenda: 1- Tabuleiro Inferior 2- Tabuleiro Superior.



O passo seguinte foi realizar o estudo do tempo de residência nos gabaritos necessário para que um conjunto de tabuleiros fizesse o arrefecimento sem contrair.

Como o tempo de ciclo médio da máquina era de cerca de 2min decidiu-se fazer experiências para 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 min e para cada tempo repetiu-se 3 vezes a experiência. Verificou-se que a partir dos 10min a peça não contraía mais, portanto tomou-se a decisão de utilizar um conjunto de 6 gabaritos para garantir que os defeitos: empeno e dimensões eram eliminados ou reduzidos, na figura 23 apresenta-se a bateria de gabaritos criada.



Figura 23 - Conjunto de gabaritos utilizados.

## 5.7 - PARÂMETROS DE MÁQUINA

Na fase final as peças saíam completas mas o aspeto não era aceitável dentro dos parâmetros estabelecidos pelo departamento de qualidade da empresa. Assim nesta fase analisou-se os parâmetros de injeção na máquina e verificou-se que as manchas nas peças para além da temperatura também se deviam a gases gerados na injeção.

A utilização de desgaseificação é uma das alternativas para se expelir os gases formados durante a injeção, mas esta causa rebarba, isto é, material indesejado e maior custo da peça. Assim, a velocidade e pressão de injeção são variáveis que devem ser controladas, sendo que estas devem ser tão baixas quanto possíveis de modo a que a injeção não seja afetada e o tempo de ciclo não aumente demasiado.



A velocidade e pressão de dosagem fazem com que o material fique mais ou menos compactado na câmara dependendo: a) se a velocidade for baixa o material fica muito compactado; b) se a velocidade for muito alta o material fica demasiado quebradiço.

Por último interveio-se nas temperaturas, como indicado no subcapítulo 5.6. A ferramenta possui 6 sondas, isto é, é possível controlar a temperatura do molde em 6 locais distintos. Pela literatura sabe-se que a injeção de baquelite deve ser feita a uma temperatura entre 165 e 195°C. Como neste caso se trata de 2 peças com uma espessura reduzida mas com uma massa elevada (885,5 g) os valores de temperatura em algumas zonas são um pouco mais baixos do que os valores teóricos, isto para que a reação de reticulação não ocorra antes de o molde estar completamente cheio.

Na tabela 6 encontram-se os valores obtidos na afinação distribuídos pela zona a que pertencem, apesar de não ser considerado um resultado perfeito foi determinado como sendo o ponto padrão, para outro tipo de ensaios. Os fatores T1, T2 e T3 pertencem à parte do “macho” do molde (zona móvel), onde um aumento da temperatura nesta zona beneficia o enchimento da peça, sendo que este valor não pode ser demasiado elevado senão a peça final fica com grandes deformações dimensionais. As temperaturas T4, T5 e T6 são do lado da cavidade (zona fixa), é com estes três fatores que se controla o aspeto qualitativo das peças finais. Nestas zonas, se a temperatura for demasiado baixa a peça fica sem brilho, por outro lado se for elevada o tabuleiro fica manchado podendo até mesmo apresentar bolhas provocadas por temperatura exageradamente elevadas.

## **5.8 – TRATAMENTO ESTATÍSTICO**

Neste caso de estudo os fatores temperatura do molde, da câmara e do bico, pressões e velocidades, tanto de injeção como de dosagem e a desgaseificação são os que influenciam a injeção.

Para se realizar o estudo de refinamento da resposta analisaram-se todas estas variáveis com o intuito de refinar apenas as que tinham maior contribuição para o resultado final do processamento. Assim começou-se por descartar os fatores de velocidade, pois estes tanto na injeção como na dosagem são valores de percentagem relativamente à

pressão em cada caso. Outro fator com menor significância era a desgaseificação, pois este valor poderia ser fixo se a percentagem de humidade na matéria-prima a utilizar, fosse controlada.

Para um primeiro estudo utilizaram-se então as 6 temperaturas do molde e as pressões de dosagem e injeção. Os valores de partida para estes ensaios foram os valores considerados anteriormente como sendo padrão.

**Tabela 4 - Valores padrão e níveis de Temperatura e Pressão**

Variável	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	PI (kgf)	PD (kgf)
<b>Nível Inferior</b>	160	155	160	155	150	150	115	90
<b>Valor Padrão</b>	165	160	165	160	155	155	120	95
<b>Nível Superior</b>	170	165	170	165	160	160	125	100

Utilizou-se então o método do desenho fatorial de experiências completo para se obter um conjunto de ensaios, para um total de 8 fatores com 2 níveis como se pode verificar pela tabela 4. Pela fórmula do desenho fatorial de experiências gerando-se uma matriz com 256 ensaios a realizar (Anexo1).

O resultado de cada ensaio foi avaliado qualitativamente, sendo atribuído um valor quantitativo entre 0 e 3, em que o valor 0 representa uma peça perfeita e o valor 3 uma injeção falhada, os valores 1 e 2 são relativos à presença de manchas tanto em quantidade como em posição relativamente ao produto final, os resultados desta avaliação para todos os ensaios encontram-se descritos na tabela do anexo 1.

Após o tratamento por RSM obtém-se o diagrama de Pareto apresentado na figura 24.

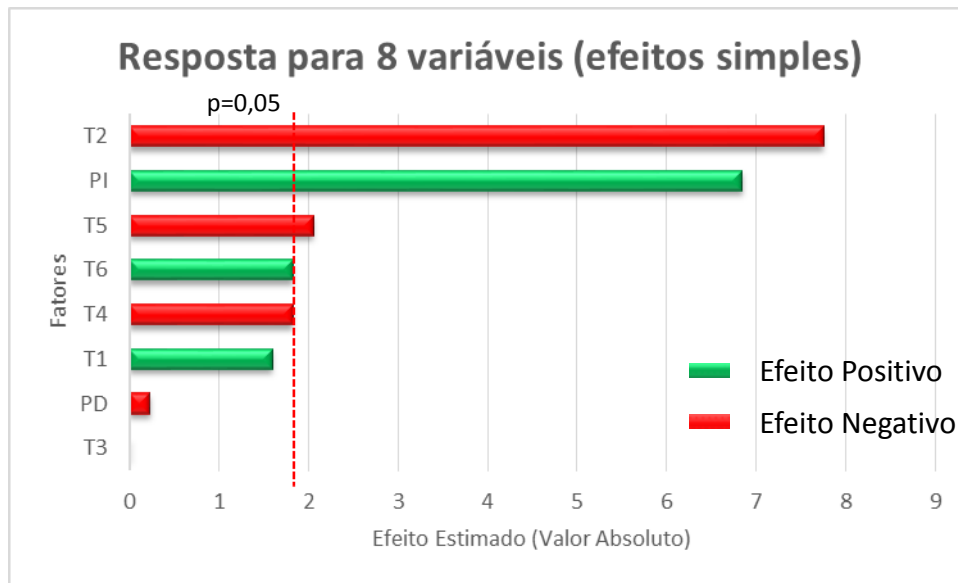


Figura 24 - Diagrama de Pareto com respostas para 8 variáveis

Na análise do gráfico da figura 24 e considerando um intervalo de confiança de 95% verifica-se que existem variáveis com um contributo significativo na qualidade final da peça, enquanto que outras têm um peso menor no resultado final da injeção.

Começou-se por descartar as variáveis que tinham uma significância fora do intervalo de confiança de 95%, foram elas as temperaturas T1, T3, T4, T6 e a pressão de dosagem. As temperaturas T1 e T4 pertencem à parte superior do molde, zona da pega do tabuleiro superior, apesar de esta ser inicialmente uma zona com problemas no enchimento, após se ter realizado a realocação das sondas o processo do controlo da temperatura nesta zona ficou estável. Quanto às temperaturas T4 e T6 pertencem ao tabuleiro inferior, peça em que o controlo de qualidade não é tão apertado e os problemas com maior significância para esta peça eram questões relacionadas com dimensões e empenos, o que ficou resolvido com a introdução dos gabaritos. A pressão de dosagem tem um efeito mínimo, pois está diretamente relacionada com a compactação do material durante a dosagem, o que para a peça tem interferência apenas na rigidez, isto é, quanto maior a pressão de dosagem mais quebradiça se torna a peça.

Os fatores com maior importância são as temperaturas T2 e T5 e a pressão de injeção (PI).

Os fatores de temperatura têm ambos um efeito negativo, o que significa que um aumento da temperatura, em relação ao valor padrão, se traduz em peças finais com maior qualidade. No caso da pressão de injeção o efeito é positivo, representando assim que a pressão de injeção deve ser tão baixa quanto possível.

Pela experiência prática ganha ao longo de todos os ensaios, já era esperado que as temperaturas na zona 2 e 5 dessem um resultado com grande significância, pois é a zona do molde onde a peça é plana e é também a zona com maior visibilidade no produto final, logo não pode ter manchas. A pressão de injeção deve ser tão baixa quanto possível, pois uma pressão elevada força a injeção e a rebarba da moldação fica com uma grande espessura e no retrabalho da peça (eliminação da rebarba) a peça fica lascada.

Com o objetivo de se obter uma melhor resposta, para se obter um valor ideal para cada fator, decidiu-se fazer um novo conjunto de ensaios em que se fixou o valor dos fatores considerados menos importantes, estes valores eram fixados no nível que pela análise do Pareto oferecia melhor qualidade à peça, por outro lado os três fatores mais relevantes vão ser testados noutros níveis que permitam obter uma resposta de superfície não linear e assim obter-se um mínimo para cada um.

**Tabela 5 - Variáveis fixas e respectivos valores em função dos resultados obtidos na análise da figura 22**

Variáveis a fixar				
T1	T3	T4	T6	PD
160	160	165	150	95

Nesta segunda fase de ensaios, utilizou-se o desenho fatorial de experiências a três níveis, o que gera uma matriz com o total de 27 ensaios. Tal como na primeira fase de ensaios foi atribuída a escala quantitativa de 0 a 3 para qualificar as peças.

A matriz de ensaios está apresentada na tabela 6, tal como o resultado para cada injeção.

Tabela 6 - Ensaios e resultados da segunda otimização

Ensaio	Fatores			Resultados	
	T2 (°C)	PI (kgf)	T5 (°C)	Experimental	Modelo
1	155	105	150	3	3
2	155	105	160	1	1
3	155	105	170	2	2
4	155	115	150	3	3
5	155	115	160	2	2
6	155	115	170	3	3
7	155	125	150	3	3
8	155	125	160	2	2
9	155	125	170	3	3
10	165	105	150	2	2
11	165	105	160	1	1
12	165	105	170	3	3
13	165	115	150	1	1
14	165	115	160	1	1
15	165	115	170	2	2
16	165	125	150	2	2
17	165	125	160	2	2
18	165	125	170	3	3
19	175	105	150	2	2
20	175	105	160	3	3
21	175	105	170	3	3
22	175	115	150	2	2
23	175	115	160	3	3
24	175	115	170	3	3
25	175	125	150	2	2
26	175	125	160	3	3
27	175	125	170	3	3

Os resultados deste segundo desenho fatorial foram tratados novamente pela metodologia RSM, numa primeira tentativa de modo linear e quadrático, apenas com interações binárias. O resultado foram 10 parâmetros de interações com 17 graus de liberdade, e com um  $R^2$  de 0,58, o que é um valor muito baixo, isto é, explica apenas 58% da variabilidade dos resultados.

Com o objetivo de se obter um melhor refinamento fez-se um novo tratamento, novamente linear e quadrático mas desta feita para além das interações binárias também se

permitiu interações entre quadráticos. Assim, o resultado mostrou um valor de 0.968 para o  $R^2$ , valor este mais significativo. Após uma análise dos 19 parâmetros devolvidos por esta resposta, retiraram-se os não significativos ficando assim com 13 parâmetros e com catorze graus de liberdade. Este modelo explica aproximadamente 93% da variabilidade dos resultados.

O modelo de ajuste é:

$$\begin{aligned}
 f = & -65067,53 + 814,1167 \times (T_2) - 2,5325 \times (T_2)^2 + 624,55 \times (P_1) - 2,714167 \\
 & \times (P_1)^2 + 379,3583 \times (T_5) - 1.215417 \times (T_5)^2 - 7,591667 \times (T_2) \quad 5) \\
 & \times (P_1) - 0,0001 \times (T_2)^2 \times (P_1)^2 - 4,9 \times (T_2) \times (T_5) + 0,0156667 \\
 & \times (T_2) \times (T_5)^2 + 0,0156667 \times (T_2)^2 \times (T_5) - 0,00005 \times (T_2)^2 \\
 & \times (T_5)^2 + 0,033 \times (T_2) \times (P_1)^2 + 0,023 \times (T_2)^2 \times (P_1)
 \end{aligned}$$

Utilizaram-se as curvas de superfície de resposta 3D para avaliar a interação entre as variáveis e determinar a região ótima para cada combinação.

As figuras 25, 26 e 27 são variações do modelo obtido pelo tratamento RSM, em que se fixou a temperatura T2 nos três níveis testados, 155, 165 e 175 °C, respetivamente.

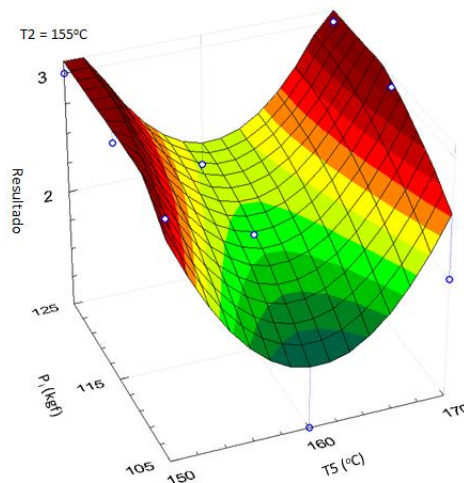


Figura 25 – Gráfico com T2 fixo a 155°C e com T5 e P1 a variar nos intervalos testados

Na figura 25 fixou-se a temperatura T2 em 155°C, com a temperatura no valor mínimo. Verifica-se que não se obtém um mínimo bem referenciado, o ponto ótimo tende para um valor mínimo de pressão de injeção e para um valor de cerca de 160°C da variável T5.

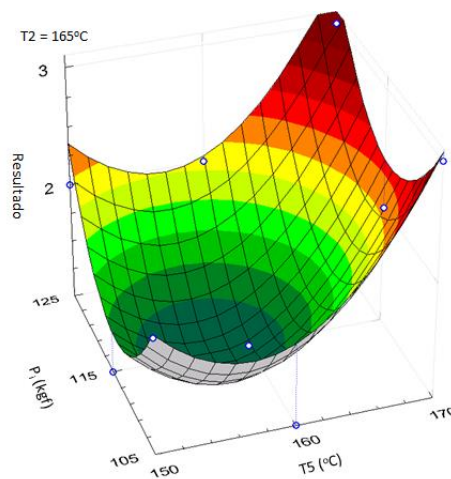


Figura 26 – Gráfico com T2 fixo a 165°C e com T5 e P<sub>1</sub> a variar nos intervalos testados

No gráfico da figura 26, obtém-se um valor mínimo bem referenciado o que representa que o valor ideal para o fator T2 é de 165°C e assim atinge-se uma combinação das outras variáveis intervenientes que possibilita um bom funcionamento do equipamento. O mínimo corresponde a uma pressão de injeção de cerca de 115 kgf e uma temperatura T5 de aproximadamente 160°C.

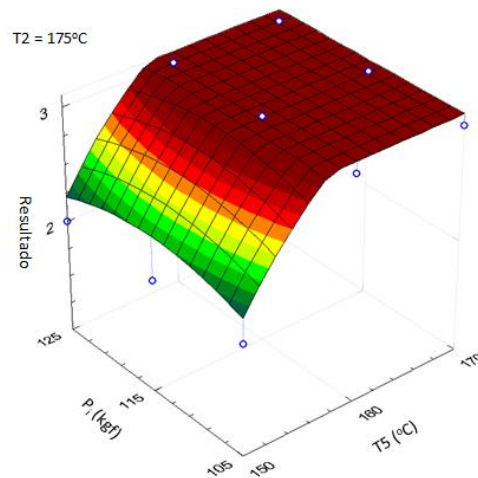


Figura 27 – Gráfico com T2 fixo a 175°C e com T5 e P<sub>1</sub> a variar nos intervalos testados

Na representação gráfica da figura 27 a temperatura T2 está fixa no valor máximo, 175°C, e verifica-se que neste caso não se obtém uma região mínima, isto é, uma combinação que permita obter o produto final com qualidade aceitável.

Nas figuras 28, 29 e 30 representa-se T2 e P<sub>1</sub> a variar tendo a temperatura T5 fixa nos valores testados, 150, 160 e 170 °C, respetivamente.

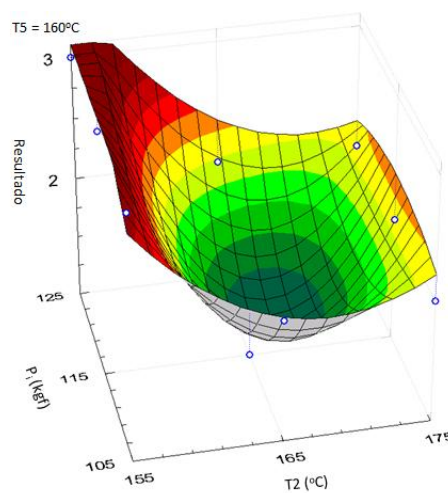


Figura 28 – Gráfico com T5 fixo a 150°C e com T2 e P<sub>1</sub> a variar nos intervalos testados



Na representação gráfica da figura 28 testa-se  $T_2$  e  $P_1$  com a temperatura em  $T_5$  fixa, é perceptível uma região mínima, um ponto ótimo que se situa na mesma região do ponto ótimo obtido na figura 29.

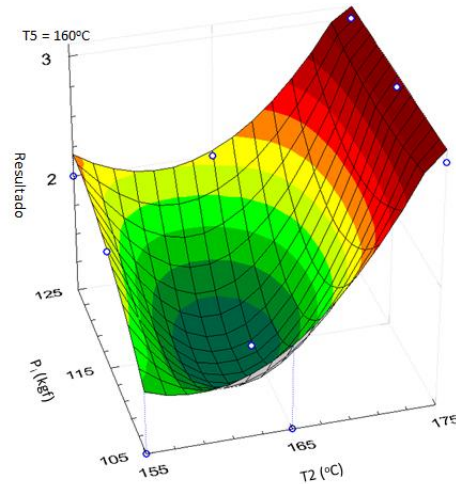


Figura 29 – Gráfico com  $T_5$  fixo a  $160^\circ\text{C}$  e com  $T_2$  e  $P_1$  a variar nos intervalos testados

Na figura 29 também se pode observar um ponto mínimo bem definido, em que os valores de  $T_2$  e  $P_1$  são aproximadamente os mesmos das figuras 27 e 29, mas com um valor de  $160^\circ\text{C}$  para  $T_5$ , o que significa que  $T_5$  pode variar entre  $150^\circ\text{C}$  e  $160^\circ\text{C}$  sem que a resposta seja afetada.

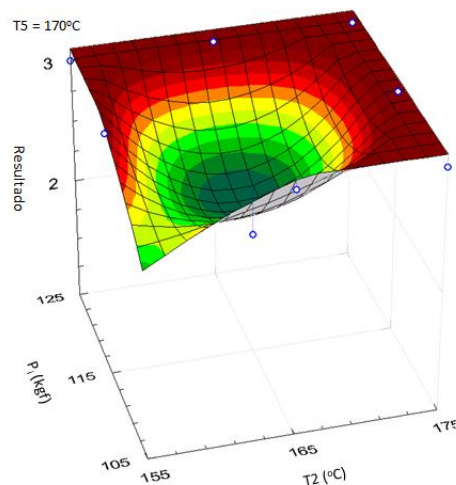


Figura 30 – Gráfico com  $T_5$  fixo a  $170^\circ\text{C}$  e com  $T_2$  e  $P_1$  a variar nos intervalos testados

Apesar de na figura 30 se obter um ponto mínimo, este tem um valor de cerca de 2 na escala de qualidade o que representa peças com qualidade mínima. Assim verifica-se

que a temperatura T5 não pode atingir valores tão elevados sob pena do aparecimento de manchas nas peças ou até mesmo injeções falhadas.

As representações gráficas das figuras 31, 32 e 33 apresentam a pressão de injeção fixa, este parâmetro tem uma grande influencia na injeção, não tanto por questões de aspeto mas sim da rebarba que sai juntamente com a peça

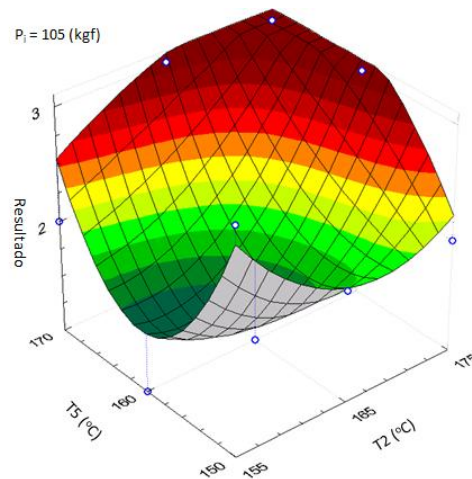


Figura 31 – Gráfico com  $P_1$  fixo a 105 kgf e com T5 e T2 a variar nos intervalos testados

A figura 31 e 32 apresentam um mínimo na zona de combinações ótimas anteriormente referidas.

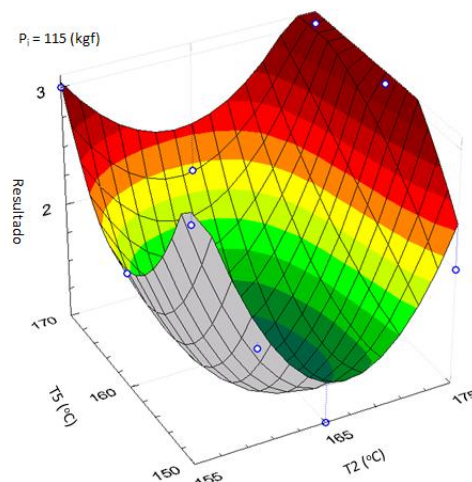


Figura 32 - Gráfico com  $P_1$  fixo a 115 kgf e com T5 e T2 a variar nos intervalos testados

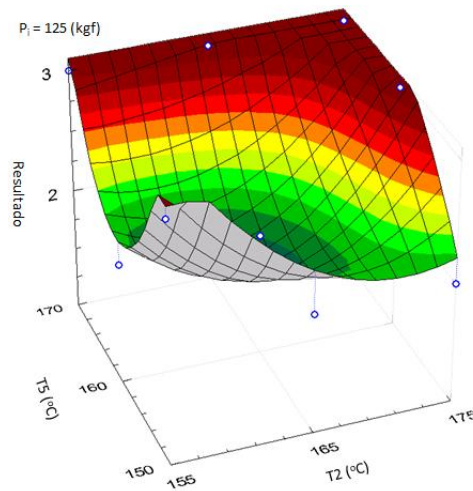


Figura 33 – Gráfico com P<sub>1</sub> fixo a 125 kgf e com T5 e T2 a variar nos intervalos testados

Na figura 33 apesar de se observar um mínimo bem definido o valor para a qualidade das peças nunca é inferior a 2, o que implica que as peças, ainda que aceitáveis, são de baixa qualidade.

Em suma a combinação de fatores ideal para injeções com qualidade é: T<sub>2</sub>=165°C; T<sub>5</sub>=entre os 150 e 160°C e a P<sub>1</sub>=115 kgf.

Foram feitos ensaios com sucesso, as peças obtidas com esta afinação foram avaliadas como sendo do tipo 1 pela escala atribuída no DoE. A produção destas peças arrancou então com base nestes parâmetros.



## 6 – CONCLUSÕES

Este o trabalho incidiu na avaliação do processamento de chapas de baquelite utilizando a injeção como técnica de moldagem.

Numa primeira fase de ensaios não se obtiveram injeções completas e através da análise dessas peças concluiu-se que os canais de injeção não estavam equilibrados e a localização das sondas que permitem o controlo da temperatura no molde para além de não ser a que permitia leituras estáveis era também insuficiente. Confrontaram-se os valores das temperaturas na câmara e no bico com os valores teóricos e concluiu-se que a gama de valores utilizada encontrava-se dentro do previsto.

Após o equilíbrio da injeção e a adição e realocização das sondas voltaram a fazer-se novos ensaios, desta feita as injeções já eram completas. As peças desta fase de ensaios foram todas analisadas, e com os dados obtidos fez-se um diagrama de Pareto para dividir os defeitos por tipo e poder-se assim verificar quais os mais significantes. Na análise deste diagrama concluiu-se que os empenos nas peças tinham um peso de cerca de 47% para o tabuleiro superior e de 35% para o tabuleiro inferior, por consequência o primeiro ponto a corrigir seria este defeito. Para tal, decidiu-se utilizar gabaritos para que o arrefecimento da peça (reticulação da matéria-prima) fosse feito de forma controlada garantindo assim as cotas consideradas críticas.

Com o objetivo de minimizar os empenos no final da injeção ensaiou-se um material com uma maior percentagem de carga mineral. A inspeção destas peças permitiu concluir que os empenos foram minimizados, mas a peça apresentava um aspeto mate ao invés do alto brilho pretendido.

Por fim recorreu-se à metodologia de resposta de superfície para se otimizarem os parâmetros de injeção. O estudo iniciou-se com 8 fatores diferentes, o que pelo desenho fatorial de experiências a dois níveis originou uma matriz com 256 ensaios diferentes. Na análise do diagrama de Pareto, com um intervalo de confiança de 95%, concluiu-se que dos 8 fatores iniciais apenas 3 tinham impacto significativo, sendo eles as temperaturas T2 e T5 e a pressão de injeção.

Voltou-se a fazer o estudo de resposta de superfície, desta feita, para os 3 fatores considerados mais importantes, as temperaturas T2 e T5 e a pressão de injeção ( $P_i$ ). Pela análise dos gráficos 3D gerados conclui-se que existe um ponto ótimo para duas variáveis que são a T2 e a  $P_i$ , com valores de 165°C e 115kgf respectivamente, enquanto que o fator T5 pode variar entre 150 e 160°C sem que a qualidade das peças seja prejudicada.

Este procedimento de análise, baseado na combinação do planejamento fatorial e análise de curvas de superfície, utilizando uma avaliação qualitativa das peças na escala 0-3, provou ser um procedimento de otimização útil, e que será uma mais-valia a utilizar em projetos existentes ou no arranque de novos projetos da empresa.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K. Hirano and M. Asami, “Phenolic resins - 100 years of progress and their future,” *React. Funct. Polym.*, no. 73, pp. 256–269, 2013.
- [2] J. A. Brydson, *PLASTICS MATERIALS*, 7th ed. Oxford: BUTTERWORTH HEINEMANN, 1995, pp. 616–633.
- [3] “Polímero Baquelite,” 2014. [Online]. Available: <http://www.mundoeducacao.com/quimica/polimero-baquelite.htm>.
- [4] G. Martins, *Manual Básico das Resinas Termofixas, Resinas Fenol Formaldeído - Baquelite*, 1st ed. São Bernardo do Campo: G.B.COM. de Materiais Didáticos.
- [5] E. S. Wilks, *Industrial Polymers Handbook: Products, Processes, Applications*. WILEY-VCH, 2001.
- [6] D. Feldman and A. Barbalata, *SYNTHETIC POLYMERS: Technology, properties, applications*. Londres: CHAPMANN & HALL, 1996, p. 370.
- [7] J. R. Fried, *POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY*. New Jersey: PRENTICE HALL, 1995, p. 509.
- [8] Z. L. Pereira and J. G. Requeijo, *QUALIDADE: PLANEAMENTO E CONTROLO STATÍSTICO DE PROCESSOS*. Lisboa: Tipografia Lousanense Lda, 2008.
- [9] Y. Kondo, “Quality education in Japan,” *Total Qual. Manag.*, vol. 4, no. 2, pp. 115–125, 1993.
- [10] J. A. D’Orey, *Slides cadeira Gestão da Qualidade*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2012.
- [11] Mind Tools, “Cause and Effect Analysis.” [Online]. Available: [http://www.mindtools.com/pages/article/newTMC\\_03.htm](http://www.mindtools.com/pages/article/newTMC_03.htm).

- [12] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiences*, 5<sup>a</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc, 2001.
- [13] C. Silva and M. Melo, “Formação e orientação de planificação fatorial e tratamento de dados,” 2014.
- [14] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, 6th ed. 2009.
- [15] J. Jaynes, X. Ding, H. Xu, W. K. Wong, and C.-M. Ho, “Application of Fractional Factorial Designs to Study Drug Combinations,” *Stat Med*, vol. 32, no. 2, pp. 307–18, 2013.
- [16] M. A. Bezerra, R. E. Santelli, E. P. Oliveira, L. S. Villar, and L. A. Escaleira, “Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry,” *Talanta*, vol. 76, pp. 965–977, 2008.
- [17] M. M. R. de Melo, A. J. D. Silvestre, and C. M. Silva, “Supercritical fluid extraction of vegetable matrices: Applications, trends and future perspectives of a convincing green technology,” *J. Supercrit. Fluids*, vol. 92, pp. 115–176, 2014.
- [18] D. Bas and I. H. Boyaci, “Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology,” *Jounal Food Eng.*, vol. 78, pp. 836–845, 2007.
- [19] A. Boubakri, A. Hafiane, and S. A. T. Bouguecha, “Application of response surface methodology for modeling and optimization of membrane distillation desalination process,” *J. Ind. Engeneering Chem.*, vol. 20, pp. 3163–3169, 2014.
- [20] G. Hanrahan, C. Garza, E. Garcia, and K. Miller, “Experimental Design and Response Surface Modeling: A Method Development Application for the Determination of Reduced Inorganic Species in Environmental Samples,” *J. Environ. Informatics*, vol. 9, no. 2, pp. 71–79, 2007.
- [21] P. C. González, T. Hernández-Quiroz, and L. García-González, “The use of experimental design and response surface methodologies for the synthesis of



chemically activated carbons produced from bamboo,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 127, pp. 133–139, 2014.

## **ANEXOS**

Anexo 1: Tabela Desenho fatorial de experiências (1ª Fase)

Anexo 2: Tabela pesos e dimensões críticas das peças do desenho fatorial de experiências (2ª Fase)

Anexo 3: Certificado de análises matéria-prima

Anexo 4: Certificado de análises matéria-prima com carga mineral superior

Anexo 5: Ficha de especificação técnica utilizada pela empresa

Anexo 6: Desenho Técnico Tabuleiro Superior

Anexo 7: Desenho Técnico Tabuleiro Superior

**ANEXO 1: TABELA DESENHO FATORIAL DE EXPERIÊNCIAS (1ª FASE)**

Tabela 7 - Matriz de experiências e resultado do primeiro desenho fatorial

Ensaio	Fatores								Resultado
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	PI	PD	
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3
2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	3
3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	3
4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	3
5	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	3
6	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	3
7	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	3
8	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	3
9	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	3
10	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	3
11	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	3
12	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	3
13	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	3
14	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	3
15	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	2
16	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	2
17	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	3
18	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	3
19	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	3
20	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	3
21	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	3
22	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	3
23	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	3
24	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	2
25	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	2
26	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	2
27	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	2
28	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	2
29	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
30	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	2
31	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	2
32	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	2
33	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	3
34	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	2
35	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	3

36	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	3
37	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	3
38	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	2
39	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	3
40	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	3
41	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	2
42	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	2
43	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	2
44	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	2
45	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	2
46	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
47	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	2
48	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	2
49	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	3
50	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	3
51	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	3
52	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	3
53	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1
54	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1
55	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	2
56	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	2
57	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
58	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1
59	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	2
60	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	2
61	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	2
62	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	2
63	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	3
64	-1	-1	1	1	1	1	1	1	3
65	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2
66	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	2
67	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	2
68	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	2
69	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	2
70	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	2
71	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	2
72	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	2
73	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1
74	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
75	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	2
76	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	2
77	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1

<b>78</b>	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1
<b>79</b>	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	2
<b>80</b>	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	2
<b>81</b>	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1
<b>82</b>	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1
<b>83</b>	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	2
<b>84</b>	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	2
<b>85</b>	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1
<b>86</b>	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	2
<b>87</b>	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	2
<b>88</b>	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	2
<b>89</b>	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1
<b>90</b>	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1
<b>91</b>	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	2
<b>92</b>	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	2
<b>93</b>	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	2
<b>94</b>	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	2
<b>95</b>	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	3
<b>96</b>	-1	1	-1	1	1	1	1	1	3
<b>97</b>	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	2
<b>98</b>	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	2
<b>99</b>	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	2
<b>100</b>	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	2
<b>101</b>	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1
<b>102</b>	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1
<b>103</b>	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	2
<b>104</b>	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	2
<b>105</b>	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
<b>106</b>	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1
<b>107</b>	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	2
<b>108</b>	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	2
<b>109</b>	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1
<b>110</b>	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1
<b>111</b>	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	2
<b>112</b>	-1	1	1	-1	1	1	1	1	2
<b>113</b>	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
<b>114</b>	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1
<b>115</b>	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	2
<b>116</b>	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	2
<b>117</b>	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1
<b>118</b>	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	1
<b>119</b>	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	2

120	-1	1	1	1	-1	1	1	1	2
121	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	2
122	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	2
123	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	2
124	-1	1	1	1	1	-1	1	1	2
125	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	2
126	-1	1	1	1	1	1	-1	1	2
127	-1	1	1	1	1	1	1	-1	3
128	-1	1	1	1	1	1	1	1	3
129	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3
130	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	3
131	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	3
132	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	3
133	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	3
134	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	3
135	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	3
136	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	3
137	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	2
138	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	2
139	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	2
140	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	2
141	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
142	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1
143	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1
144	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
145	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	2
146	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	2
147	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	2
148	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	2
149	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	2
150	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	2
151	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	3
152	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	3
153	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	2
154	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	2
155	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	2
156	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	2
157	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	2
158	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	2
159	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	3
160	1	-1	-1	1	1	1	1	1	3
161	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	3

162	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	3
163	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	3
164	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	3
165	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	3
166	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	3
167	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	3
168	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	3
169	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	2
170	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	2
171	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	3
172	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	3
173	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	2
174	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	2
175	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	3
176	1	-1	1	-1	1	1	1	1	3
177	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	2
178	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	2
179	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	2
180	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	2
181	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	2
182	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	2
183	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	3
184	1	-1	1	1	-1	1	1	1	3
185	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	2
186	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	2
187	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	3
188	1	-1	1	1	1	-1	1	1	3
189	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	2
190	1	-1	1	1	1	1	-1	1	2
191	1	-1	1	1	1	1	1	-1	3
192	1	-1	1	1	1	1	1	1	3
193	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2
194	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	2
195	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	2
196	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	2
197	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	2
198	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	2
199	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	2
200	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	2
201	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	2
202	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	2
203	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	2

204	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	2
205	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	2
206	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	2
207	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	3
208	1	1	-1	-1	1	1	1	1	3
209	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1
210	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1
211	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	2
212	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	2
213	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1
214	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1
215	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	2
216	1	1	-1	1	-1	1	1	1	2
217	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1
218	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1
219	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	2
220	1	1	-1	1	1	-1	1	1	2
221	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	2
222	1	1	-1	1	1	1	-1	1	2
223	1	1	-1	1	1	1	1	-1	3
224	1	1	-1	1	1	1	1	1	3
225	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	2
226	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	2
227	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	2
228	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	2
229	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	2
230	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	2
231	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	2
232	1	1	1	-1	-1	1	1	1	2
233	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
234	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1
235	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	2
236	1	1	1	-1	1	-1	1	1	2
237	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	2
238	1	1	1	-1	1	1	-1	1	2
239	1	1	1	-1	1	1	1	-1	3
240	1	1	1	-1	1	1	1	1	3
241	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
242	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1
243	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	2
244	1	1	1	1	-1	-1	1	1	2
245	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	2



---

<b>246</b>	1	1	1	1	-1	1	-1	1	2
<b>247</b>	1	1	1	1	-1	1	1	-1	2
<b>248</b>	1	1	1	1	-1	1	1	1	2
<b>249</b>	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	2
<b>250</b>	1	1	1	1	1	-1	-1	1	2
<b>251</b>	1	1	1	1	1	-1	1	-1	2
<b>252</b>	1	1	1	1	1	-1	1	1	2
<b>253</b>	1	1	1	1	1	1	-1	-1	3
<b>254</b>	1	1	1	1	1	1	-1	1	3
<b>255</b>	1	1	1	1	1	1	1	-1	3
<b>256</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	3

**ANEXO 2: TABELA PESOS E DIMENSÕES CRÍTICAS DAS PEÇAS DO DESENHO FATORIAL DE EXPERIÊNCIAS (2ª FASE)****Tabela 8 - Resultado dos pesos e cotas críticas das peças do segundo desenho fatorial**

Ensaio	Peso moldação	Dimensões	
		Superior	Inferior
1	883,2	311,2	310,9
2	884,9	311,1	310,8
3	886,3	310,9	310,9
4	884,0	310,9	310,7
5	885,6	311,2	311,0
6	884,4	311,0	311,1
7	883,0	310,8	311,0
8	884,8	311,1	311,2
9	884,5	311,0	310,8
10	885,3	311,1	310,8
11	885,6	310,8	310,6
12	884,2	311,2	311,0
13	885,8	311,0	310,8
14	885,7	331,1	311,0
15	885,0	310,9	311,1
16	885,1	311,1	310,9
17	884,8	311,0	311,2
18	884,1	311,1	311,0
19	887,5	311,1	311,3
20	886,8	310,8	311,0
21	886,7	311,1	310,9
22	886,4	311,2	311,0
23	885,9	310,9	310,8
24	886,1	310,9	311,2
25	885,8	311,0	310,9
26	885,4	310,8	311,1
27	885,9	311,1	311,0

## ANEXO 3: CERTIFICADO DE ANÁLISES MATÉRIA-PRIMA



Date: 29-11-13

PRODUCT:

**PF2A2 9005 154**

Customer: FORMAPLÁS TRANSF. PLÁSTICOS, L.D.A.

For the attention of: Dpto. Calidad

Order N°: A1300441

Characteristic: Bulk Density g/cm<sup>3</sup> OFT 7 Mpa Volatiles  
 Unit (0,50-0,63) (60-80) (2,4%-4,9%)

Batch number:

PF2A2 9005 154

1308210	0.59	75	4.3
1308211	0.61	72	4.1
1308212	0.61	74	4.1
1308213	0.60	74	4.0
1308307	0.62	73	4.0
1308308	0.60	75	4.0
1308309	0.61	75	4.2
1308310	0.61	73	4.0
1308311	0.62	67	4.1
1332416	0.61	73	3.9
1332417	0.60	76	4.0
1332418	0.61	75	3.9
1332419	0.61	71	3.9
1332420	0.59	71	4.3
1332514	0.62	75	4.3
1332515	0.58	72	4.3
1332516	0.58	71	4.1
1332517	0.60	71	4.0
1332518	0.59	72	3.9
1332519	0.59	75	4.2
1332520	0.59	73	4.0
1332521	0.60	72	4.0

Production dates PF2A2 9005 154: October 9<sup>th</sup>, 10<sup>th</sup>, November 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup>

This certificate has been made out automatically by an electronic data processing system and is therefore valid also without signature.

Avda. Baltasar I Gàlil, 64 Apdo. 28  
08950 Gavà, BarcelonaT. +34 93 638 22 88  
F. +34 93 638 1773info@fenoquímica.es  
www.fenoquímica.es

REGISTRO MERCANTIL DE BARCELONA - Tomo 11.160 - Libro 10.022 de la sección 2ª de Sociedades-Folio 42 - High 130.247 - Inscripción 1ª - 27-12-69 N.I.F. A-5828109

## ANEXO 4: CERTIFICADO DE ANÁLISES MATÉRIA-PRIMA COM CARGA MINERAL SUPERIOR



Date: 29-04-14

PRODUCT:

**PF2A2 9005 154M3**

Customer: FORMAPLÁB TRANSF. PLÁSTICOS, L.D.A.

For the attention of: Dpto. Calidad

Order N°:

Characteristic:	Bulk Density g/cm <sup>3</sup>	OFT 7 Mpa	Volatiles
Unit	(0,50-0,63)	(70-90)	(2,4%-4,9%)
Batch number:			
<u>PF2A2 9005 154M3</u>			
1411315	0,57	84	3,5

Production dates PF2A2 9005 154M3: April 23<sup>rd</sup>

*This certificate has been made out automatically by an electronic data processing system and is therefore valid also without signature.*

Avda. Baltasar I Gual, 64 Apdo. 28  
08850 Gavà, Barcelona

T. +34 93 638 22 88  
F. +34 93 638 17 73

info@fenoquímica.es  
www.fenoquímica.es

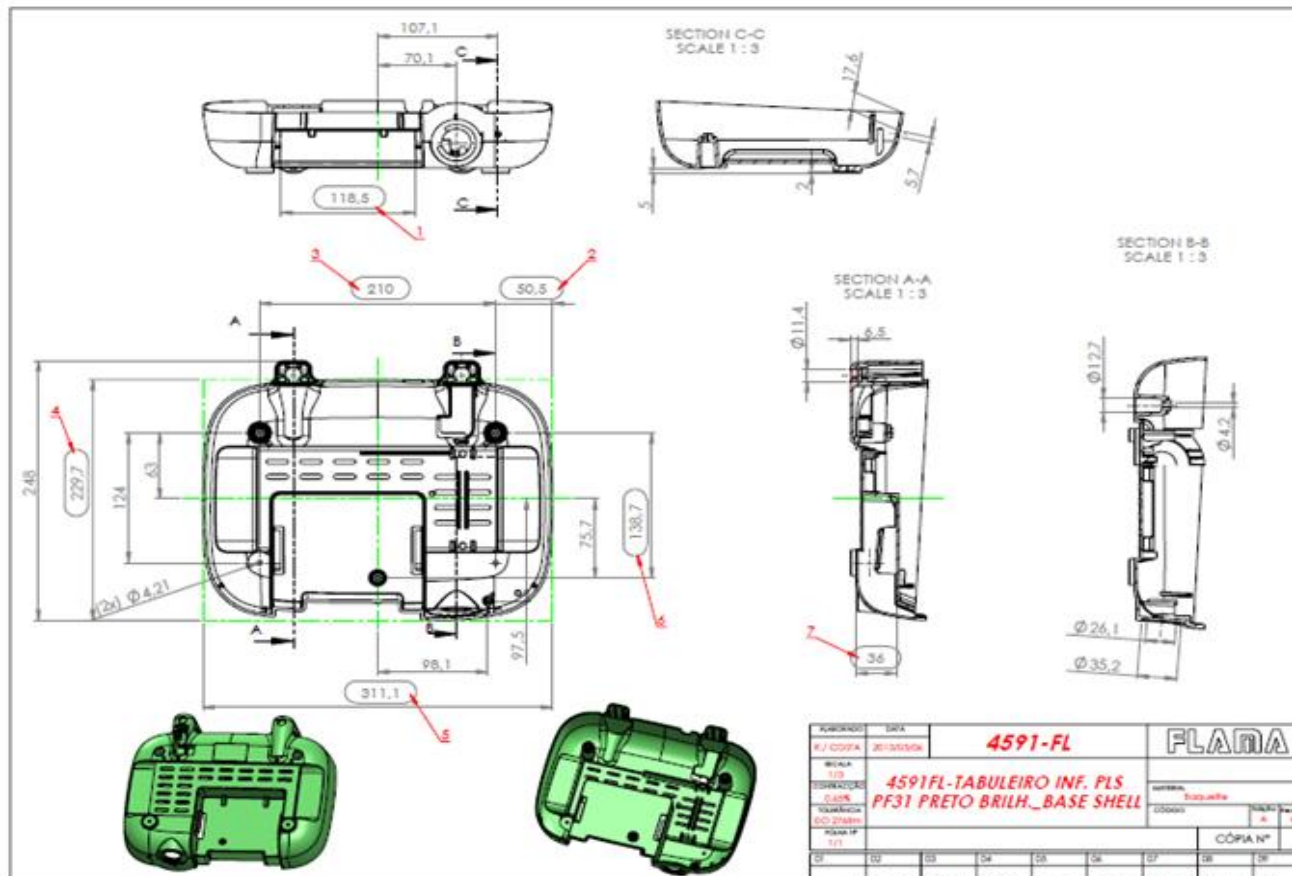
REGISTRO MERCANTIL DE BARCELONA - Tomo 11.182 - Libro 10.022 de la sección 2ª de Sociedades - Folio 42 - Hoja 130.247 - Inscritión 1ª - 27-10-89 N.I.F. A-58028109

**ANEXO 5: FICHA DE ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA UTILIZADA PELA EMPRESA**

<b>FLAMA</b> <i>forma</i>	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA BAKELITE</b>	N°				
<b>IDENTIFICAÇÃO</b>						
CODIGO ARTIGO: _____ N° MOLDE: _____ N° CAVIDADES: _____						
DESIGNAÇÃO: _____						
REF.* MATERIA PRIMA: _____ REF.* CORANTE: _____ % CORANTE: _____						
TRITURADO ADMISSÍVEL (%): _____ MÁQUINA: _____ DIÂMETRO DO FUSO (mm): _____						
PESO PEÇA (g): _____ PESO GITO (g): _____ PESO MOLDAÇÃO (mm): _____						
<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA</b>						
<b>ABERTURA / FECHO DO MOLDE F2</b>						
FECHO						
	Pressão (Kgf)	Velocidade (%)	Posição (mm)			
Alta Velocidade				Tempo de fecho do molde (s)		
Baixa pressão						
Alta pressão						
ABERTURA						
	Pressão (Kgf)	Velocidade (%)	Posição (mm)	Distância de desgasificação (mm)		
Baixa Velocidade 1						
Alta Velocidade						
Baixa velocidade 2						
<b>PARAMETROS DE INJEÇÃO</b>						
<b>INJEÇÃO / MANUTENÇÃO F3</b>						
	Pressão (Kgf)	Velocidade (%)	Posição (mm)			
Injecção 1				Tempo de Injecção máximo (s)		
Injecção 2						
Injecção 3						
Injecção 4						
	Pressão (Kgf)	Velocidade (%)	Posição (mm)			
Manutenção 1				Tempo de ciclo (s)		
Manutenção 2						
Manutenção 3						
<b>DOSAGEM / ARREFECIMENTO F4</b>						
	Pressão (Kgf)	Velocidade (%)	Posição (mm)			
Dosagem 1				Tempo de arrefecimento máximo		
Dosagem 2						
Descompressão						
<b>PARAMETROS DOS PERIFERICOS</b>						
<b>TEMPERATURA DO MOLDE F5</b>						
Temperature	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6
Temperature Control	0 OFF	1 ON	Temperature de câmara		Zone 1	Zone 2
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>PARTE FIXA</p> <div style="border: 1px solid black; width: 80px; height: 80px; margin: 0 auto;"></div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>PARTE MÓVEL</p> <div style="border: 1px solid black; width: 80px; height: 80px; margin: 0 auto;"></div> </div> </div>			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">                 ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DAS RESISTÊNCIAS NO MOLDE             </div>			
Elaborado	Aprovado	Revisão n°	Data	Pag.		
		0		1 de 1		
Divisão/Interação	RI	RI	RI	RI	RI	RI

**ANEXO 6:  
TÉCNICO  
TABULEIRO**

**DESENHO  
SUPERIOR**



**ANEXO 7: DESENHO TÉCNICO TABULEIRO SUPERIOR**

