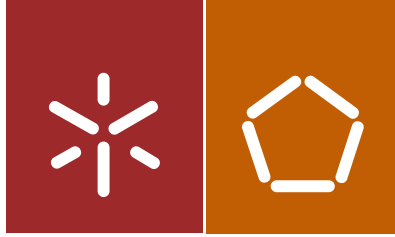




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Daniel Joaquim Simões Moniz Azevedo

Otimização das condições de processamento,
aplicadas a um caso real para a moldação de
peças finas em PBT



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Daniel Joaquim Simões Moniz Azevedo

Otimização das condições de processamento,
aplicadas a um caso real para a moldação de
peças finas em PBT

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do :
Professor António Brito
Engenheiro João Cortez

dezembro de 2014

DECLARAÇÃO

Nome: Daniel Joaquim Simões Moniz Azevedo

Endereço eletrónico: a58703@mail.alunos.uminho.pt

Título da tese de mestrado: Otimização das condições de processamento, aplicadas a um caso real para a moldação de peças finas em PBT

Orientadores: Professor António Brito e Engenheiro João Cortez

Ano de conclusão: 2014

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

Universidade do Minho, __/__/____

Assinatura, _____

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador da Universidade do Minho, Professor António Brito pelo apoio prestado na realização da dissertação, pela total disponibilidade ao longo do mesmo e pela simpatia.

Ao Engenheiro João Cortez, Gerente e Fundador da Empresa CCL (grupo Celoplás), e orientador do trabalho aqui mencionado, pela oportunidade de realizar um estágio numa empresa de prestígio e pelo apoio prestado ao longo deste projeto.

Ao Engenheiro Paulo Oliveira, Diretor Industrial da CCL, pelo acompanhamento, acolhimento, conselhos e disponibilidade ao longo destes meses.

Aos funcionários da Empresa CCL, principalmente, aos meus colegas de trabalho: Sr. Armando Costa (Chefe de produção), Sr. Carlos Teixeira (Diretor de produção), Sr. David Oliveira (Técnico de manutenção) e Sra. Helena Ribeiro (Assistente administrativa) pelo apoio, simpatia, instrução na linha de produção e pela colaboração nos trabalhos realizados.

À minha família (Joaquim Azevedo, Rosa Azevedo, Ana Azevedo e Filipa Azevedo) porque graças a eles consegui atingir um dos meus objetivos de vida, pela sua dedicação, carinho, compreensão, e por toda ajuda dada em todas as etapas da minha vida.

À minha namorada Inês Barbosa pelo seu apoio, carinho, disponibilidade, paciência e dedicação sempre demonstrado ao longo deste percurso.

Por fim, aos meus amigos/as, nomeadamente ao Bruno Martins, David Melo, João Severino, e Marco Paiva pelo apoio que sempre deram, pela sua amizade ao longo dos anos de curso e no decorrer desta última e importante etapa.

Mais uma vez OBRIGADO!

RESUMO

Este trabalho surge na continuação do estudo desenvolvido durante o estágio curricular na Empresa CCL – Plásticos para a indústria LDA, com o seguinte tema: Otimização das condições de processamento, aplicadas a um caso real para a moldação de peças finas em PBT.

Um estudo sobre a produção de uns copos em PBT, mais concretamente sobre os copos (5735 PBT 30% GF CZ e 573550 PBT 15% GF) num molde de canais quentes de 8 cavidades. Na produção das peças, estas apresentavam vários defeitos, tanto na peça, como no seu processo, não sendo assim rentável para a empresa.

Desta forma o objetivo foi melhorar/corrigir os defeitos, sendo que os problemas que surgiram foram os seguintes: o molde utilizado possuía oito cavidades, mas como este se manifestava impróprio, foram usadas apenas quatro para tentar não obter peças deformadas; desconhecimento das variáveis operatórias significantes para o melhoramento da qualidade da peça; os copos apresentavam empeno e ainda algumas peças saíam contaminadas; o processo apresentava-se instável, ou seja, alterava-se várias vezes o valor das variáveis operatórias pois as peças apresentavam-se com rebarba ou ratadas.

Após o estudo, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios pois houve uma grande melhoria de todos os problemas que este processo apresentava. No entanto, apesar das soluções implementadas, existem ainda alguns defeitos que não foram possíveis de serem solucionados, apenas melhorados.

ABSTRACT

This work arises through the following study developed during my internship at CCL Company - Plastics industry LDA, and its subject is: Optimization of processing conditions applied to a real case for molding thin parts in PBT.

It's a study about PBT cups production, more specifically, glasses (5735 PBT 30% GF CZ 573550 PBT and 15% GF) into a mold of hot runners with 8 cavities. During the production of these pieces, they had several defects, in the part itself, so as in the process. So this wasn't profitable for the company.

Thus, the aim was to improve / correct the defects that are: the mold used had eight holes, but as this manifested itself improper, only four were used to try not to get deformed parts; lack of significant operative variables to improve the quality of the piece; the glasses had warping and still leave some pieces contaminated; the process had become unstable, ie, altered several times the value of the operative variables because the specimens had become burred or nicked.

After the study, the results were quite satisfactory because it was found a big improvement in all the problems that this presented. However, although all the solutions implemented, there are some defects that were not possible to be solved, just improved.

ÍNDICE

DECLARAÇÃO.....	iii
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT.....	ix
ÍNDICE	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xv
SIGLAS E ABREVIATURAS	xvii
INTRODUÇÃO	1
1.EMPRESA.....	3
1.1 CCL.....	3
1.2 Produtos.....	5
2. ESTADO DA ARTE.....	7
2.1 Introdução	7
2.2 Moldação por injeção de termoplásticos	8
2.3 Máquina de injeção.....	11
2.4 Moldes	12
2.5 Condições de processamento	13
2.6 Materiais reforçados com fibra de vidro.....	14
2.7 Problemas na injeção	15
3.CASO EM ESTUDO	25
4.CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....	27
4.1 Máquina	27
4.2 Matéria-prima	28
4.3 Molde	29

4.4 Peça.....	30
4.5 MFI	32
4.6 DSC	34
5.RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 Estudo das variáveis relevantes do processo	40
5.2 Contração / Empeno	44
5.3 Contaminação	50
5.4 Instabilidade do processo.....	54
5.5 Ensaios com 8 cavidades.....	60
5.6 Instrução de trabalho.....	61
6. CONCLUSÃO	67
7. SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	69
8. BIBLIOGRAFIA	71
9. ANEXOS	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Instalações da CCL [2]	3
Figura 2 - Algumas peças produzidas na CCL [2].....	5
Figura 3 - Ciclo de moldação [6]	9
Figura 4 - Unidades funcionais [7].....	11
Figura 5 - Molde para injeção de termoplásticos [8].....	12
Figura 6 - Quantidade de fibra de vidro [11]	14
Figura 7 - Tempos de 2ª pressão usados em materiais amorfos/semi-cristalinos [13]....	23
Figura 8 - Copos em PBT com defeito	25
Figura 9 - Ferromatik Milacron K110 [14].....	27
Figura 10 - Fórmula química do Polibutileno Tereftalato (PBT) [15].....	28
Figura 11 – (Lado esquerdo) Parte fixa do molde; (Lado direito) Parte móvel do molde ..	29
Figura 12 - Esboço da peça desenhada em Solidworks	30
Figura 13 – (Lado esquerdo) Copo 573550 PBT 15% GF; (Lado direito) Copo 5735 PBT 30% GF CZ	30
Figura 14 - Medidas dos copos 573550 PBT 15% GF e 5735 PBT 30% GF CZ	31
Figura 15 - Espessura da parede A e B.....	31
Figura 16 - Sequencia da realização do MFI [17]	32
Figura 17 - Equipamento do ensaio de fluidez	33
Figura 18 – Equipamento do DSC [18].....	34
Figura 19 - Calor absorvido pelo polímero em relação à temperatura [18].....	35
Figura 20 - Temperatura de transição vítrea [18].....	35
Figura 21 - Temperatura de cristalização [18]	36
Figura 22 - Temperatura de fusão [18].....	37
Figura 23 - Conjunto de todas as temperaturas [18].....	38
Figura 24 – Temperaturas das cavidades/buchas 5, 6, 7 e 8 do molde.....	46
Figura 25 - Temperaturas das cavidades 1, 2, 3 e 4 do molde.....	48
Figura 26 – DSC do material virgem (2º aquecimento)	50
Figura 27 – DSC do material reciclado (2º aquecimento).....	51
Figura 28 - Aparelho de refrigeração	60
Figura 29 - Ensaio 1 de DSC em material virgem.....	87

Figura 30 - Ensaio 1 de DSC em material virgem (2º aquecimento)	87
Figura 31 - Ensaio 2 de DSC em material virgem.....	88
Figura 32 - Ensaio 2 de DSC em material virgem (2º aquecimento)	88
Figura 33 - Ensaio 1 de DSC em material reciclado	89
Figura 34 - Ensaio 1 de DSC em material reciclado (2º aquecimento)	89
Figura 35 - Ensaio 2 de DSC em material reciclado	90
Figura 36 - Ensaio 2 de DSC em material reciclado (2º aquecimento)	90

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Empresas do grupo Celoplás [1]	3
Tabela 2 - Temperaturas recomendadas do molde [13]	21
Tabela 3 - Propriedades do PBT [10].....	28
Tabela 4 – Medidas de umas peças	31
Tabela 5 – Medidas e parâmetros do copo 573550	40
Tabela 6 - Medidas e parâmetros do copo 573550.....	41
Tabela 7 - Medidas e parâmetros do copo 573550.....	44
Tabela 8 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	47
Tabela 9 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	53
Tabela 10 – MFI do material Valox (copo 573550)	55
Tabela 11 - MFI do material Kingfa (copo 5735).....	56
Tabela 12 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	58
Tabela 13 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	59
Tabela 14 – Instrução de trabalho do copo 573550	62
Tabela 15 – Medidas e parâmetros ideais para o copo 573550.....	63
Tabela 16 – Controlo dos tempos de injeção 1 e 2	63
Tabela 17 - Instrução de trabalho do copo 5735	64
Tabela 18 - Medidas e parâmetros ideais para o copo 5735.....	65
Tabela 19 - Controlo dos tempos de injeção 1 e 2	65
Tabela 20 - Medidas e parâmetros do copo 573550.....	73
Tabela 21 - Medidas e parâmetros do copo 573550.....	74
Tabela 22 - Medidas e parâmetros do copo 573550.....	75
Tabela 23 - Medidas e parâmetros do copo 573550.....	76
Tabela 24 - Medidas e parâmetros do copo 573550.....	77
Tabela 25 - Medidas e parâmetros do copo 573550.....	78
Tabela 26 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	79
Tabela 27 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	80
Tabela 28 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	81
Tabela 29 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	82
Tabela 30 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	83

Tabela 31 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	84
Tabela 32 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	85
Tabela 33 - Medidas e parâmetros do copo 5735.....	86

SIGLAS E ABREVIATURAS

DSC – Calorimetria de varrimento diferencial ou Differential scanning calorimetry

MFI – Índice médio de fluidez

PBT – Polibutileno Tereftalato

PET – Politereftalato de etileno

PEAD – Polietileno de alta densidade

PEBD – Polietileno de baixa densidade

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

PVC – Policloreto de vinila

T_c – Temperatura de cristalização

T_g – Temperatura de transição vítrea

T_m – Temperatura de fusão

INTRODUÇÃO

A dissertação encontra-se organizada em sete capítulos, estruturados da seguinte forma:

-No capítulo 1 é apresentada a Empresa aqui mencionada e alguns dos seus produtos, bem como a especificação do local em que foi feita a otimização do processo;

- No capítulo 2 é exposto um pequeno resumo relativamente a injeção de plásticos termoplásticos e quais os seus problemas mais comuns;

- No capítulo 3 apresenta-se o caso de estudo, resumindo e explicando o problema do processo e quais as melhorias a fazer;

- No capítulo 4 são exibidas as peças fundamentais para a realização dos ensaios e das experiências;

- No capítulo 5 são exprimidos e discutidos os resultados obtidos na realização dos ensaios e das experiências;

- No capítulo 6 são explicitadas quais as principais conclusões resultantes deste trabalho;

- No capítulo 7 apresentam-se sugestões a desenvolver num trabalho a realizar no futuro.

1.EMPRESA

A Empresa do grupo Celoplás onde se desenvolveu a dissertação foi na CCL, situada em Vila Nova de Famalicão (Calendário). A tabela seguinte ilustra todas as empresas desse mesmo grupo.

Tabela 1 - Empresas do grupo Celoplás [1]

Empresas do grupo Celoplás:	
	<u>CCL - Plásticos para a Indústria</u>
	<u>Centi-Support, Máq. e Equip. para a Indústria, Lda.</u>
	<u>Celoprint - Impressões, Lda.</u>
	<u>Nanologic</u>

1.1 CCL

A CCL – Plásticos para a indústria, Lda. surgiu no ano de 1986, inicialmente com projetos relacionados com a injeção de peças plásticas para a indústria elétrica / eletrónica. Face ao seu contínuo crescimento, houve a necessidade de aumentar o espaço disponível de laboração, pelo que em 1991 foi adquirido o edifício industrial onde atualmente está instalada. [2]



Figura 1 - Instalações da CCL [2]

Em 1996, a empresa Celoplás adquire a CCL e passados 2 anos inicia-se o desenvolvimento de uma nova tecnologia – injeção de peças em Silicone Líquido (LSR). No ano de 2000 é dado mais um grande passo com a conquista da certificação de Qualidade segundo a norma ISO 9002, certificação essa que a partir de 2006 passaria a ser obtida em auditorias de grupo com a empresa Celoplás.

Atualmente, a CCL labora numa área coberta de cerca de 1.500 m², dispõe de um parque de máquinas constituído por 14 equipamentos, com forças de fecho variáveis entre 40 e 200 toneladas, e tem ao seu serviço um conjunto de 18 colaboradores distribuídos por 3 turnos de laboração.

A CCL está vocacionada para servir os seus clientes na área da injeção de peças técnicas em materiais termoplásticos ou silicones. Desde há vários anos, mantém um sistema de qualidade certificado e recorrendo a outras empresas do grupo, pode disponibilizar também serviços como o fabrico de moldes, a pintura de peças plásticas ou a montagem de peças.

Missão:

Maximizar valor e benefício, num posicionamento estratégico de excelência no negócio do desenvolvimento de produtos de alta tecnologia, em parceria com clientes, utilizando materiais poliméricos.

Visão:

Crescer, sustentadamente, otimizando o conhecimento e respondendo às solicitações do negócio no mercado global, tendo sempre presente a perspetiva do cliente, da sociedade, da inovação, da aprendizagem e dos acionistas.

Valores:

Crescimento sustentado com compromisso social; clientes satisfeitos e confiantes; competência, dedicação e motivação; honrar os compromissos e a imagem; melhoria contínua.

[2]

1.2 Produtos

Não dispondo no mercado de qualquer marca própria, a CCL disponibiliza os seus serviços técnicos de injeção aos seus clientes, pelo que cada artigo que produz é propriedade exclusiva do cliente a que se destina. Cabe ao cliente fornecer o molde para a injeção da peça que pretende, ou então deixar ao cuidado desta empresa o desenvolvimento da peça e molde. Atualmente processa mais de 70 tipos diferentes de materiais termoplásticos de engenharia e de borrachas líquidas de silicone (LSR). [2]

Na gama de produtos que produz, podem-se destacar algumas áreas de aplicação tais como:

- Industria elétrica e eletrónica;
- Industria automóvel;
- Industria de armamento;
- Aplicações domésticas;
- Componentes para contadores e bombas de água. [2]



Figura 2 - Algumas peças produzidas na CCL [2]

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Introdução

Um polímero é um material constituído por moléculas de grandes dimensões, macromoléculas, que contêm uma cadeia central de átomos unidos por ligações covalentes. Estas macromoléculas são produzidas através de um processo chamado polimerização, no qual moléculas simples, os monómeros, reagem quimicamente entre si. Os plásticos para além de conterem uma matriz composta por macromoléculas, contêm aditivos. Os aditivos são substâncias que se adicionam ao polímero para obter propriedades específicas ou para facilitar a sua transformação. Sendo assim: Plástico = Polímero + Aditivos. [3]

Os materiais plásticos podem ser classificados de diferentes formas, ou seja, como termoplásticos, termoendurecíveis e elastómeros. No entanto, neste caso o importante é distinguir duas categorias: os termoendurecíveis e os termoplásticos. [3]

Os termoendurecíveis são plásticos que endurecem durante o seu processo de fabrico e moldação a quente. Solidificam formando um corpo sólido e estável, o que impede a sua posterior reutilização. Portanto não podem ser novamente transformados, isto é, amolecidos e moldados. Como exemplos de termoendurecíveis podem citar-se as resinas epóxi, a borracha vulcanizada e alguns poliuretanos.[4]

Os termoplásticos são polímeros de peso molecular muito elevado, rígidos ou flexíveis à temperatura ambiente, mas moles e elásticos a temperaturas elevadas. Assim, podem ser moldados plasticamente tantas vezes quantas necessárias, voltando ao estado sólido depois de arrefecidas. Como exemplos de termoplásticos existem o PS, PP, PET, PBT, PEBD, PEAD, PVC. [4]

2.2 Moldação por injeção de termoplásticos

A moldação por injeção de termoplásticos pode ser definida como o processo a partir do qual um material plástico, originalmente no estado sólido (usualmente sob a forma de grão), é carregado numa máquina onde, sequencialmente, é aquecido a fim de amolecer (ou plasticizar) e forçado, sob pressão, a entrar para um molde. No molde, o material fundido preenche a impressão respetiva e arrefece, recuperando a rigidez. O processo conclui-se com a extração da moldação [5].

Vantagens

- Peças com apertadas tolerâncias dimensionais;
- Peças de geometria complexa;
- Vários acabamentos superficiais;
- Processo altamente reprodutível;
- Custo baixo, para grandes séries de produção;
- Processo automatizado (baixo custo de mão-de-obra);
- Ausência de acabamento final. [6]

Desvantagens

- Investimento inicial (molde, máquina de injeção, equipamento auxiliar);
- Grande quantidade de desperdícios (sistema de alimentação), que por vezes pode ser aproveitada;
- Peças finas <3-4 mm. [6]



Figura 3 - Ciclo de moldação [6]

O ciclo de moldação compreende as seguintes etapas:

1) Fecho e trancamento - Esta operação corresponde ao início do ciclo (quer o funcionamento seja em regime automático ou semiautomático) e deve ser tão rápida quanto possível. No entanto há limites que decorrem da inércia das grandes massas metálicas do molde e, também, da necessidade do encosto das duas partes do molde ser suave para evitar a danificação das superfícies. O tempo para esta operação depende das performances da máquina e das características do molde. Muitas vezes, é possível pouparem-se segundos preciosos reduzindo a separação das placas do molde ao intervalo mínimo necessário para possibilitar a extração da moldação.

2) Injeção - Após o cilindro ter encostado o bico ao molde, o parafuso é empurrado para diante obrigando o fundido a fluir para dentro do molde. A velocidade de injeção selecionada (ou idealmente o perfil de velocidades) deve corresponder a um compromisso entre rapidez (para assegurar o enchimento global da impressão) e a qualidade do produto final (velocidades muito elevadas podem gerar marcas na superfície e níveis de orientação exagerados). Caudais de injeção de 100 a 500 g/s são de prática comum.

3) Pressurização - A seguir ao enchimento do molde, é necessário continuar a pressurizar a impressão, a fim de reduzir o efeito da contração por arrefecimento e evitar o refluxo do fundido. No entanto, a pressurização não deve ser excessiva porquanto daí podem advir danos à peça e dificultar a extração. Esta fase termina logo que o ataque, canal de entrada do material na impressão, ou a própria peça, estejam solidificados.

4) Arrefecimento/plasticização - Logo que tenha ocorrido a consolidação do ataque, o êmbolo pode ser retraído (no caso das máquinas de parafuso este começa a rodar iniciando a plasticização de mais material, sendo obrigado a recuar por efeito da pressão criada), e a moldação continua a arrefecer no molde. Quando o volume pretendido estiver doseado, o fuso pára. Por vezes, segue-se o seu recuo linear no sentido de avaliar a pressão sobre o material fundido e evitar que este escorra pelo bico (no caso de ser um bico aberto). Esta fase, opcional no ciclo de injeção, designa-se por descompressão. A fase de arrefecimento termina logo que a peça atinge uma temperatura que permita a desmoldação sem distorção. Esta parte do ciclo é meramente uma operação de dissipação do calor transportado pelo material, dependendo da espessura da moldação e do projeto do molde (nomeadamente do seu sistema de arrefecimento). Uma permanência mais longa da peça no molde permite reduzir a intensidade das tensões internas criadas pelo arrefecimento.

5) Abertura e extração - O tempo para esta operação é uma função da máquina utilizada, nomeadamente das características da sua unidade de fecho, e do deslocamento do molde na abertura. É uma operação crítica do ponto de vista produtivo, pois em simultâneo, e mediante a utilização de mecanismos apropriados, pode ser efetuada a separação das moldações do sistema de alimentação.

6) Tempo morto - É o período de tempo que decorre desde o momento em que a peça foi extraída e o início do novo ciclo. É praticamente instantâneo se a máquina estiver em regime automático, mas pode ser prolongado nos casos em que a remoção da peça seja manual ou tenha que ser feita a colocação de insertos. Pela sua própria natureza, o tempo morto depende da aptidão do operador, do nível de automatização do molde e do tipo de afinação utilizada. Tempos mortos prolongados e com variação de ciclo para ciclo, afetam drasticamente a reprodutibilidade do processo. [5]

2.3 Máquina de injeção

A constituição típica de uma máquina de moldação por injeção - a injetora é baseada em quatro unidades (Figura 5):

a) Unidade de potência - Fornece a energia adequada aos diversos atuadores da máquina; geralmente é um sistema de pressão óleo-hidráulico, cuja bomba respetiva é acionada por um motor elétrico.

b) Unidade de plasticização - Promove o transporte, aquecimento, plasticização e homogeneização do material (originalmente em grão ou pó), desde a base da tremonha até ao bico de injeção; garante também a subsequente injeção e pressurização do fundido.

c) Unidade de fecho - Permite a fixação e a movimentação do molde, devendo ser capaz de o manter fechado durante as fases de injeção e de pressurização; também integra os dispositivos necessários à extração das moldações.

d) Unidade de comando - As operações e os dispositivos necessários a assegurar a monitorização e controlo das diversas variáveis do processo estão centralizadas nesta unidade, que também permite a interface com o operador e as comunicações com periféricos ou sistemas de gestão de informação. [5]

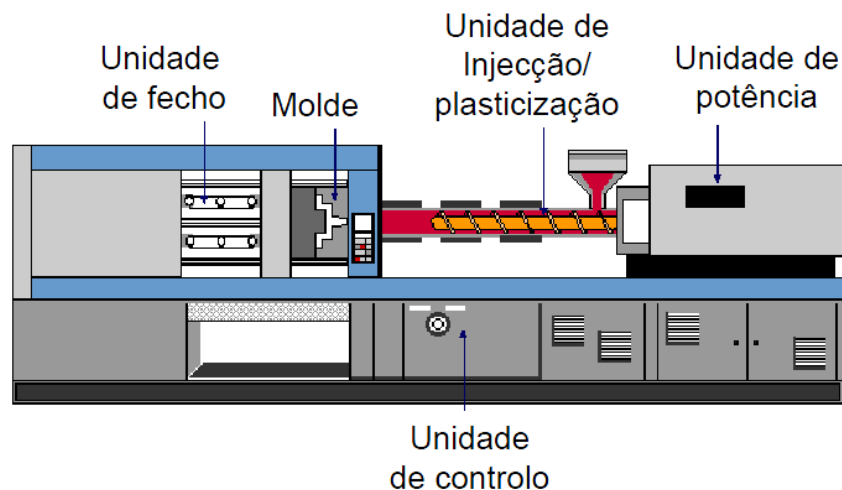


Figura 4 - Unidades funcionais [7]

Para além da máquina, o processo de moldação por injeção implica a existência de um **molde** que define a geometria do produto final. Trata-se de uma ferramenta constituída por, pelo menos, duas partes que são mantidas fechadas durante os períodos de injeção e subsequente arrefecimento, abrindo depois para se fazer a extração da moldação respetiva. [5]

2.4 Moldes

O molde é o coração do processo de moldação por injeção. A sua finalidade é dar a forma desejada ao material a moldar. Contudo, existem outras tarefas alocadas a este componente, mais precisamente, a alimentação. Desde o bico de injeção até às cavidades, a ventilação das cavidades, o arrefecimento da moldação e a sua extração. A qualidade superficial do molde é determinante no acabamento superficial da peça moldada.

Os moldes são normalmente constituídos por duas partes: a parte do lado da injeção, que é montada no prato fixo da máquina, e a parte do lado da extração que é fixa ao prato móvel. [8]

Os componentes de um molde simples são ilustrados na figura seguinte:

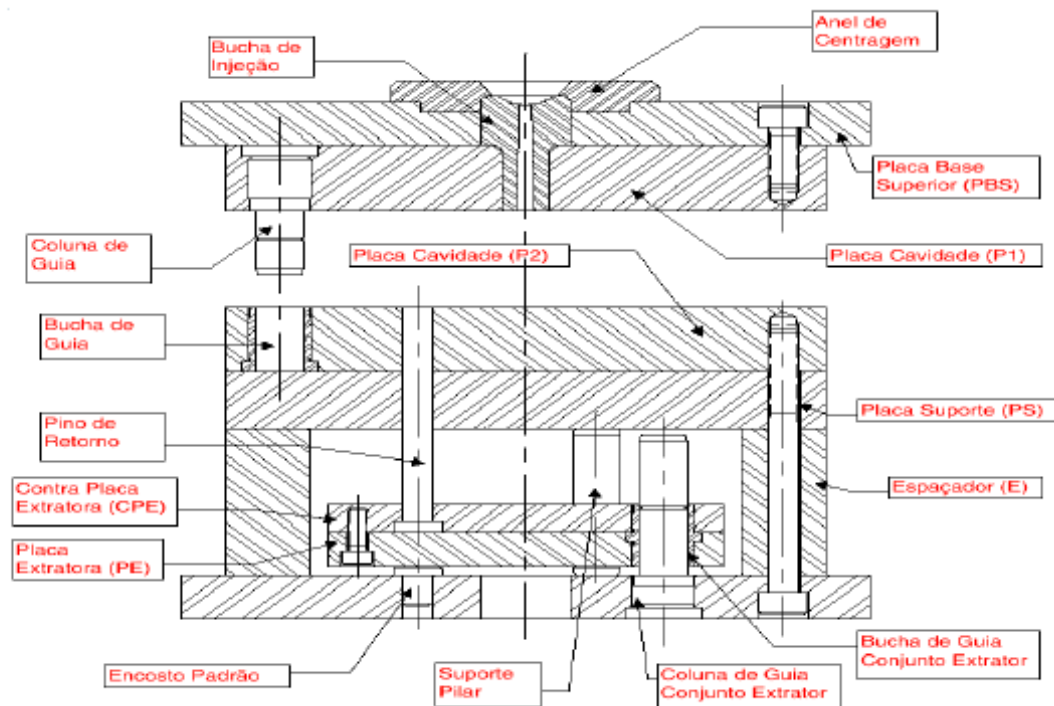


Figura 5 - Molde para injeção de termoplásticos [8]

2.5 Condições de processamento

O processo de moldação por injeção envolve um grande número de parâmetros e variáveis, genericamente designados por condições de processamento, podendo ser classificadas do modo seguinte:

a) Variáveis operatórias (aquelas sobre as quais o operador pode atuar):

- Velocidade e pressão de injeção;
- Pressão de manutenção;
- Perfil de temperaturas no cilindro;
- Temperatura do molde;
- Contra-pressão;
- Velocidade de rotação do fuso;
- Velocidades de movimentação do sistema de fecho.

b) Parâmetros de processamento (fatores que não podem ser variados durante a produção e que dependem das características específicas do equipamento, apesar de afetarem o processo):

- Bico de injeção;
- Espessura da peça;
- Comprimento de fluxo;
- Localização e geometria do ataque;
- Distribuição de temperaturas na superfície moldante.

c) Propriedades do material:

- Peso molecular (viscosidade e índice de fluidez);
- Morfologia e contração;
- Sensibilidade térmica;
- Higroscopicidade;
- Carácter anisotrópico. [5]

2.6 Materiais reforçados com fibra de vidro

Os produtos plásticos reforçados com fibra de vidro são utilizados em aplicações que necessitam de alta resistência mecânica, mas com exigências leves. Combinando a fibra de vidro com plásticos, aumenta a resistência física dos materiais, a rigidez, a resistência ao impacto e a estabilidade dimensional, bem como a sua utilização em faixas de temperaturas mais amplas. Em geral, o grau de melhoria de propriedade cresce com o volume de vidro utilizado como reforço.

O regime específico de uma geometria especial de fibra de vidro será determinar quais as propriedades que irão melhorar. Por exemplo, fios de vidro podem ser direccionalmente colocados na mistura que resiste a cargas específicas ou podem ser dispostas aleatoriamente para fornecer propriedades de resistência uniforme em todas as direções. [11]

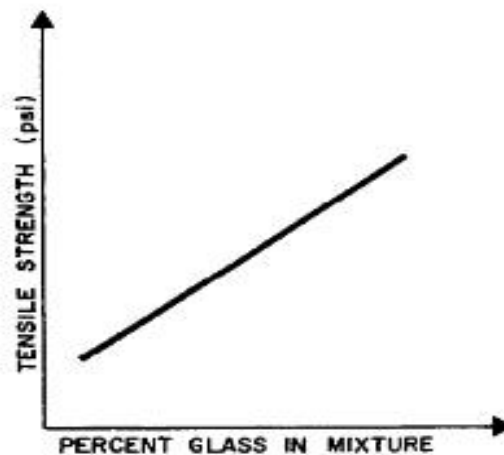


Figura 6 - Quantidade de fibra de vidro [11]

2.7 Problemas na injeção

2.7.1 Rebarba

A rebarba é um excesso de material que pode aparecer em toda a peça ou apenas em zonas localizadas, como por exemplo, fugas de gás e extratores. Pode ser quase invisível ou ter alguns milímetros. Se as rebarbas persistirem por muito tempo acabam por danificar o molde.

Causas possíveis:

1. Força de fecho insuficiente;
2. Molde pouco rígido (deforma com a pressão de injeção);
3. Vedação da linha de junta danificada;
4. Parâmetros de processamento não otimizados.

Correções possíveis:

1. Aumentar a força de fecho;
2. Aumentar a rigidez do molde;
3. Refazer a vedação na linha de junta;
4. Otimizar os parâmetros de injeção;
5. Reduzir a velocidade de injeção ou a temperatura do fundido;
6. Fazer a comutação para a segunda pressão mais cedo ou reduzir o valor da segunda pressão. [10]

2.7.2 Ratados

A peça considera-se incompleta quando a cavidade do molde não é completamente cheia. Existem diversas razões para isto acontecer desde pressão de injeção insuficiente, válvula de não-retorno com funcionamento deficiente, fugas de gases tapadas, etc.

Causas possíveis:

1. Parâmetros de processamento não otimizados;
2. Perda excessiva de pressão no sistema de alimentação;
3. Ponto de injeção e canais estrangulados;
4. Perda excessiva de pressão no sistema de canais quentes;
5. Perda excessiva de pressão na transição bico da injetora;
6. Paredes muito finas.

Correções possíveis:

1. Otimizar parâmetros de processamento;
2. Aumentar temperaturas do fundido e do molde;
3. Aumentar velocidade de injeção;
4. Comutar para 2ª pressão mais tarde;
5. Reduzir perda de pressão no sistema de alimentação;
6. Aumentar tamanho do ponto de injeção e diâmetro do canal de alimentação;
7. Verificar o diâmetro dos canais quentes;
8. Trabalhar com bicos de diâmetro relativamente grande;
9. Aumentar a espessura das paredes. [10]

2.7.3 Contaminação/Degradação térmica

Se o fundido for degradado termicamente, devido a temperaturas ou tempos de residência muito elevados, são criados, por decomposição, produtos gasosos que são visíveis na superfície como zonas descoloradas acastanhadas ou prateadas.

Causas possíveis:

1. Temperatura do fundido muito elevado;
2. Tempo de residência do fundido elevado;
3. Velocidade do fuso muito elevada;
4. Secção do bico e secção do canal de injeção muito pequenas;
5. Produção interrompida sem redução das temperaturas.

Correções Possíveis:

1. Reduzir temperatura do fundido;
2. Usar fusos com menor diâmetro;
3. Reduzir velocidade do fuso;
4. Aumentar diâmetros do bico e do canal de injeção; [10]

2.7.4 Comprimento da Almofada Variável

O comprimento da almofada deve ser constante de moldação para moldação, quando isto não acontece pode ser um sinal de que algo não está bem na injetora e que outros problemas poderão surgir.

Causas possíveis:

1. Válvula de não-retorno danificada;
2. Sistema hidráulico defeituoso;
3. Dosagem irregular.

Correções possíveis:

1. Verificar a válvula de não-retorno e substituí-la se necessário;
2. Verificar sistema hidráulico;
3. Verificar a unidade de injeção para verificar desgaste e substituí-la se necessário. [10]

2.7.5. Contração

O polímero entra no molde como um material quente (fundido), ocupando um certo volume: devido ao facto de a temperatura do molde ser mais baixa, o polímero começa a arrefecer e, por causa disso, começa a contrair. Qualquer tipo de plástico tem um intervalo de contração diferente, a uma espessura fixa. Quanto mais grossa for a peça, mais contração que ocorre na direção do fluxo acontece na direção perpendicular. Em polímeros cristalinos e reforçados com fibra de vidro, a contração na direção do fluxo é menos do que na direção perpendicular. Além disso, a contração na região próxima a ponto de injeção é menor que a contração em áreas mais distantes. A contração é proporcional à espessura.

Causas possíveis:**Material:**

- Estrutura molecular: polímero cristalino/amorfo;
- Orientação direcional;
- Cálculo do fator de contração;
- Viscosidade/fluxo do material (sub-compactação);
- Sequência de enchimento e comprimento do fluxo.

Equipamento:

- Problemas de alimentação com a rosca;
- Almofada.

Processamento:

- Sub-compactação;
- Temperatura do material fundido;
- Otimização das condições de moldagem.

Molde:

- Temperatura do molde: incorreta ou variável;
- Canais de alimentação com “design” incorreto;
- Espessura da peça;
- Tipo e localização do ponto de injeção. [12]

2.7.6. Empeno

O empeno das peças é o resultado de deformações que aparecem devido a contração diferencial da peça. A deformação irregular de um produto moldado por injeção causa desvios dimensionais e de aparência. Por ser bastante difícil eliminar tais deformações pelas condições de moldação nas máquinas injetoras, a deformação mais crítica é ocasionada pelo projeto inadequado do molde e do próprio produto. [19]

Causas possíveis:

1. Peça mal projetada;
2. Má orientação das fibras de vidro;
3. Má distribuição de espessuras na peça;
4. Segunda pressão inefetiva;
5. Válvula de não retorno danificada;
6. Deficiente controlo de temperatura do molde.

Correções possíveis:

1. Otimizar desenho da peça;
2. Melhorar a orientação das fibras de vidro alterando o ponto de injeção;
3. Uniformizar ao máximo a espessura da peça;
4. Comutar para segunda pressão mais cedo;
5. Verificar válvula de não-retorno e substituí-la se necessário;
6. Controlar separadamente a temperatura de cada metade do molde. [10]

2.7.7 Temperatura inadequada do molde

Possíveis consequências negativas de uma temperatura inadequada do molde:

O sintoma mais facilmente identificável é o mau acabamento superficial da peça injetada. A contração de moldação e a contração pós-moldação de polímeros semi-cristalinos são altamente dependentes da temperatura da superfície da cavidade do molde e da espessura de parede da peça. Portanto, uma dissipação irregular de calor no molde pode provocar diferentes contrações na mesma peça. Na prática, isto pode dificultar a manutenção das tolerâncias da peça. Nas circunstâncias mais desfavoráveis, a contração pode estar além do limite do corrigível, tanto para resinas reforçadas como para não reforçadas. [13]

Quando as dimensões de peças que trabalham a alta temperatura diminuem com o tempo, em geral, a causa é a temperatura muito baixa da cavidade. Isto porque, com temperaturas do molde muito baixas, a contração de moldação pode ser muito pequena, porém, a contração pós-moldação será substancialmente mais alta.

Se um longo tempo de start-up é necessário até que as dimensões diminuam para os valores corretos, isto é um sinal de um controlo de temperatura inadequado na ferramenta.

Uma dissipação inadequada do calor em algumas regiões da ferramenta pode causar um substancial aumento do ciclo total, provocando o aumento do custo da peça. Temperaturas incorretas podem, algumas vezes, ser detetadas na peça injetada através de técnicas laboratoriais como análise estrutural (por exemplo, com o POM) e DSC (por exemplo, com o PET).

Tabela 2 - Temperaturas recomendadas do molde [13]

Material	Temp. recomendada do molde
POM - H	90 °C
PA 66	70 °C
PA 66 GF 30	110 °C
PA 6	70 °C
PA 6 GF 30	85 °C
PBT	80 °C
PBT GF 30	80 °C
PET GF 30	110 °C

Temperaturas de molde

Recomendações para ajustar a temperatura da cavidade corretamente:

As ferramentas de injeção estão a tornar-se cada vez mais complexas e, como resultado disto, fica cada vez mais difícil criar condições apropriadas para um controlo efetivo da temperatura do molde. Exceto no caso de peças simples, o uso de sistemas de controlo de temperatura do molde é sempre uma questão de compromissos.

Por esta razão, a lista de recomendações a seguir deveria ser vista apenas como um guia de carácter geral:

- O controlo da temperatura da cavidade deve ser levado em consideração na fase de projeto da ferramenta;
- Quando se projetam moldes de grandes dimensões para fabricar peças pequenas e de baixo peso, é importante que os mesmos permitam uma boa transferência de calor;
- Sempre que possível, usar água pressurizada como meio de controlo;
- Usar mangueiras capazes de suportar altas pressões e temperaturas (até 8 bar e 130° C);
- Especificar a performance do controlador de temperatura para a ferramenta;
- Utilizar isolamento entre as bases do molde e as placas da máquina;
- Usar controladores de temperatura separados para a parte móvel e para a parte fixa do molde;
- Usar controlo de temperatura separado para partes móveis e machos, de modo a que possamos trabalhar com diferentes temperaturas para iniciar a injeção;
- Conectar sempre circuitos de controlo de temperatura diferentes em série, nunca em paralelo. Se os circuitos estão em paralelo, pequenas diferenças na resistência ao fluxo podem causar distintas consequências na vazão do meio controlador da temperatura, de forma a que as variações da mesma serão maiores do que no caso em que se colocam conexões em série (que trabalharão adequadamente apenas se houver menos de 5°C de diferença entre a temperatura de entrada e a de saída);
- O uso de termómetros no equipamento para indicar a temperatura de entrada e de saída do fluido de controlo de temperatura do molde é recomendado;

- Por razões de controlo de processo, recomenda-se utilizar também um sensor de temperatura na ferramenta, de modo a permitir calcular a temperatura durante a produção. [13]

2.7.8 Tempo de 2ª pressão muito curto

Após a etapa de injeção de material na cavidade e subsequente pressurização, onde o polímero é compactado para dentro da cavidade da peça para compensar a contração do material durante a solidificação. Resumidamente o tempo de 2ª pressão é a injeção de mais material nas cavidades, a uma pressão controlada, geralmente constante, sendo a escolha do tempo e da pressão primordial na obtenção de peças de boa qualidade. [20]

Como descobrir se o tempo de 2ª pressão está muito curto?

Peças moldadas com baixo tempo de 2ª pressão apresentam contração excessiva, empenamento, rechupes, vazios e, em alguns casos, enormes perdas de propriedades mecânicas. Adicionalmente, podem ocorrer consideráveis variações dimensionais. Geralmente, tenta-se compensar estes problemas através do aumento do tempo de arrefecimento, porém, inutilmente. Com isto obtêm-se ciclos desnecessariamente longos. [13]

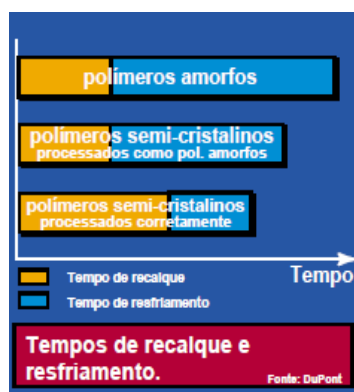


Figura 7 - Tempos de 2ª pressão usados em materiais amorfos/semi-cristalinos [13]

No caso de compostos reforçados, os defeitos podem ser facilmente detetados através da análise da superfície de uma peça rompida na secção mais espessa. Se o tempo de 2ª pressão for muito curto, será possível observar uma estrutura espumosa na região da quebra e uma microfotografia ampliada mostrará fibras expostas que não estão unidas ao polímero. Outro método consiste em tirar uma microfotografia de uma secção polida, em que pode ser detetada porosidade.

O tempo efetivo de 2ª pressão pode ser determinado durante a injeção, pesando-se um certo número de peças. Esta é a melhor maneira de determinar o tempo para uma certa peça, em condições práticas.

Procedimento de ajuste correto

Para se obter peças moldadas com propriedades ótimas, o tempo de 2ª pressão deve ser determinado pelo método da pesagem, e o tempo de arrefecimento deve ser reduzido ao mínimo (normalmente, ligeiramente superior ao tempo de plastificação). Isto pressupõe que o ponto de injeção tenha sido projetado e posicionado corretamente. É importante, também, manter a pressão constante durante o tempo de 2ª pressão. [13]

3.CASO EM ESTUDO

O caso de estudo aqui exposto foi realizado durante o período de estágio na empresa anteriormente mencionada. Tinha como tema a “otimização das condições de processamento, aplicadas a um caso real para a moldação de peças finas em PBT”.

Foi assim elaborado um estudo sobre a produção de uns copos em PBT, nomeadamente sobre os copos (573550 PBT 15% GF e 5735 PBT 30% GF CZ) num molde de canais quentes com oito cavidades. Durante este processo e com todas as cavidades operacionais, as peças surgiam deformadas, como é visível na imagem seguinte.



Figura 8 - Copos em PBT com defeito

Tendo em conta que a primeira produção (realizada com oito cavidades) apresentava demasiados defeitos, efetuou-se uma segunda produção apenas com quatro cavidades no intuito de solucionar os problemas. Para a produção de 4 cavidades, era necessário colocar um canal quente com uma temperatura mais baixa do que o outro, no entanto o material entupiu o canal e assim trabalhou-se apenas com 4 cavidades. Esta última produção, embora já com um nível de qualidade mais elevado e com mais valor final para o cliente do que a anterior, ainda apresentava muitas falhas: necessidade de investigação acerca de quais as variáveis operatórias mais importantes para a melhoria da peça, empeno e contaminação dos copos e instabilidade da produção (saindo peças com rebarba e/ou ratadas), originando a alteração dos valores das variáveis várias vezes.

Desta forma o objetivo foi tentar melhorar o processo utilizando as quatro cavidades e depois de conseguido, ambicionar para as oito cavidades, conjugando concessivamente com ensaios.

Nos capítulos seguintes (4 e 5) vemos explicito como e quais as formas de trabalho elaboradas, que visavam a melhoria/resolução dos problemas, relativamente aos copos e ao processo.

4.CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

4.1 Máquina

A máquina utilizada na injeção das peças para este projeto foi uma Ferromatik, modelo K110 D-S de 1998, cujas principais características são:

- **Força de fecho:** 110 toneladas, ou 1100 kN;
- **Unidade de injeção:** Tamanho 493 (normas Euromap), diâmetro do fuso de 50mm;
- **Capacidade máxima de injeção:** 1568 bar pressão máxima;
- **Capacidade máxima de volume:** 314 cm³;
- **Altura mínima do molde:** 250 mm;
- **Largura entre colunas:** 470 mm;
- **Abertura máxima:** 800 mm;
- **Ergonomia:** Acesso total a todas as funções da máquina através de uma interface de fácil utilização;
- **Dinâmica:** Possibilidade de movimentos simultâneos resultando em menores tempos de ciclo.



Figura 9 - Ferromatik Milacron K110 [14]

4.2 Matéria-prima

O material usado na produção da peça é o PBT com 15% de fibra de vidro (Valox ENH4530 Rosin) e 30% fibra de vidro (KingfaPBT-RG301).

O PBT, Polibutileno Tereftalato, pertence à família dos termoplásticos de poliéster. É um polímero semi-cristalino usado maioritariamente em moldação por injeção para aplicações de engenharia (Indústria Eletrónica). O Polibutileno Tereftalado (PBT) é produzido através de policondensação do ácido tereftálico ou dimetil tereftalato com 1,4-butanediol. [9]

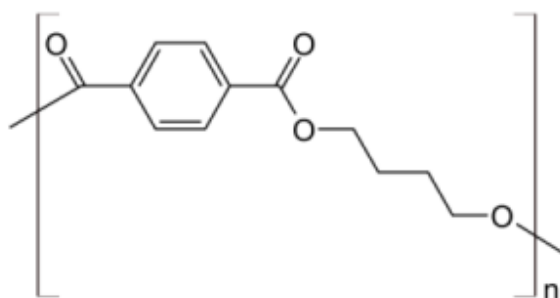


Figura 10 - Fórmula química do Polibutileno Tereftalato (PBT) [15]

Tabela 3 - Propriedades do PBT [10]

Densidade:	1.30
Propriedades:	Boa resistência ao calor, bastante duro e rígido, poucas tensões internas, temperatura de processamento entre 240°C e 260°C
Resistente a:	Óleo, gorduras, álcool, gasolina
Não resistente a:	Benzeno, ácidos fortes, soluções alcalinas, acetona
Identificação:	Difícil de inflamar, auto extingüível, chama alaranjada luminosa, cheiro aromático
Contração	1,4% a 2 %, com fibra de vidro 0,4% a 0,6%

4.3 Molde

A peça é produzida no molde ilustrado nas figuras. Sendo um molde de canais quentes apresenta algumas vantagens, tais como: menor perigo de encravamento, menor tempo de ciclo (tempo de abertura e fecho, tempo de injeção, tempo de arrefecimento), aumento da capacidade de injeção e alimentação múltipla.



Figura 11 – (Lado esquerdo) **Parte fixa do molde**; (Lado direito) **Parte móvel do molde**

Em contraponto, tem também desvantagens como: maior custo inicial, maior complexidade, facilidade de entupimento, limitações com alguns materiais.

Apesar de se tratar de um molde de 8 cavidades, em produção nunca se conseguiram extrair peças com qualidade, saindo sempre peças deformadas ou com elevado empeno, não sendo, assim, aceites pelo cliente. Pensava-se que a causa disso mesmo era o facto de o molde ser mal concebido e portanto, devido às temperaturas, este dilatava, não se conseguindo obter peças com qualidade. Sofreu várias modificações, visando a melhoria de resultados, tais como: colocar placas térmicas entre as placas de aço, alterar as medidas das placas, entre outras.

Mesmo depois de todas as alterações no molde, “entupiu-se” um dos canais e experimentou-se trabalhar apenas com 4 cavidades, onde se obtiveram melhores resultados, mesmo assim insuficientes para o desejado, pois o processo era instável (por vezes saíam peças boas, outras peças ratadas e outras com rebarba).

Só depois de vários ensaios e análise cuidada de resultados é que se conseguiu o pretendido, um processo estável e com peças muito boas.

4.4 Peça

As peças produzidas no molde (Figura 12 e 13) de canais quentes com ataques submarinos são uns copos em PBT, onde se utiliza o mesmo polímero mas com percentagem de fibra de vidro (FV) diferente, PBT com 15% de FV (Código da peça: 573550 PBT 15% GF) e outro PBT com 30% FV (Código da peça: 5735 PBT 30% GF CZ).

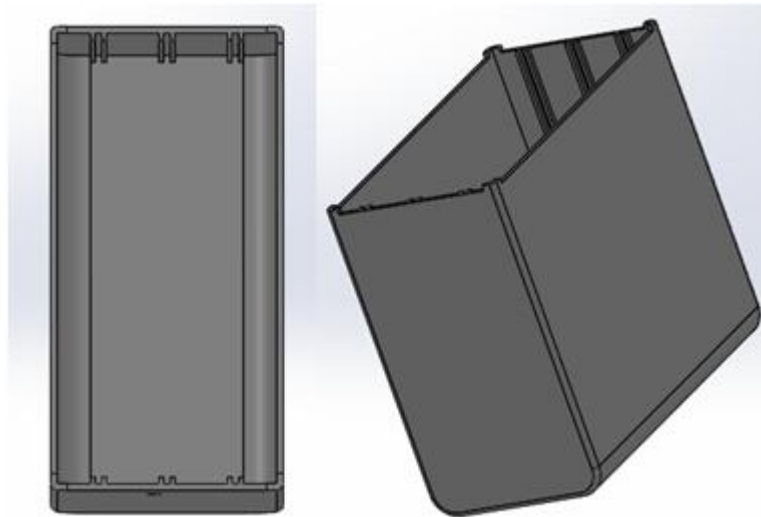


Figura 12 - Esboço da peça desenhada em Solidworks

Como se pode verificar pela figura 13, os copos apresentam um empeno virado para dentro. Caso o empeno seja para fora, já não é aceite pelo cliente. Este surge devido a contração das peças. O copo com menos fibra é o que apresenta maior contração, o que já era esperado. Pois a fibra faz com que o material seja mais rígido, logo mais difícil contrair.



Figura 13 – (Lado esquerdo) Copo 573550 PBT 15% GF; (Lado direito) Copo 5735 PBT 30% GF CZ

As medidas que os copos deveriam possuir são as ilustradas na Figura 14, mas devido ao seu empeno, não foram possíveis de se obter. Para o cliente aceitar as peças obtidas no processo, predefiniu-se uma medida mínima entre A e B de 31,5 mm. Para controlar melhor o empeno, a partir dos resultados obtidos, estudou-se quais seriam as variáveis que mais influenciavam nesse defeito e a partir daí melhorar e estabilizar o processo, de modo a que se obtenham na produção peças com qualidade e que, de ciclo para ciclo, a medida entre as paredes seja muito idêntica.

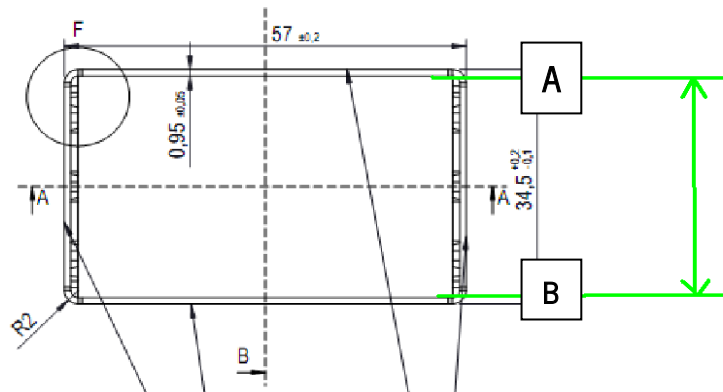


Figura 14 - Medidas dos copos 573550 PBT 15% GF e 5735 PBT 30% GF CZ

Em relação à espessura das paredes, esta deveria ser de 0,95 mm, no entanto essa medida já seria mais difícil de controlar. De qualquer forma, obtiveram-se valores muito aproximados.

Tabela 4 – Medidas de umas peças

	A(mm)	B (mm)
Cavidade n.º5	0,97	0,95
Cavidade n.º6	0,98	1,01
Cavidade n.º7	0,93	0,95
Cavidade n.º8	0,95	0,93

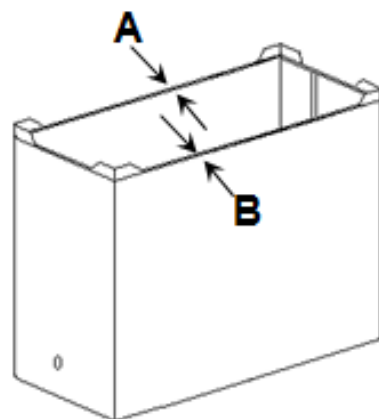


Figura 15 - Espessura da parede A e B

4.5 MFI

Este ensaio consiste na medição do Índice de Fluidez (MFI) que dá informação sobre a facilidade com que flui um polímero fundido. Define-se como a massa de polímero, em gramas, que passa durante 10 minutos através de uma feira com um diâmetro e comprimento específicos, quando lhe é aplicada uma pressão pré-definida, a uma dada temperatura. Essa pressão é exercida por um êmbolo que tem um determinado peso. Trata-se de um método normalizado, e as normas correspondentes são: ASTM D1238 (Americana) e ISO 1133 (Europeia). A seguinte figura ilustra em três passos este mesmo ensaio. [16]

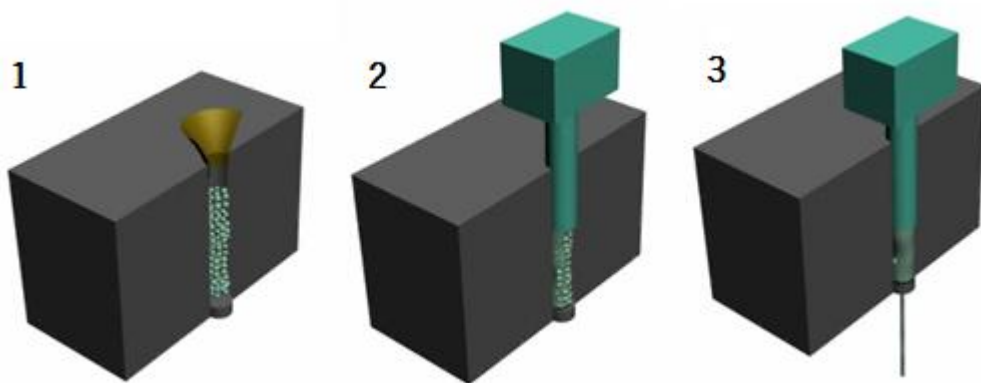


Figura 16 - Sequencia da realização do MFI [17]

Durante a realização dos ensaios do MFI definiu-se a massa de polímero, em gramas, que passa durante 10 segundos através de uma feira com um diâmetro e comprimento específicos, quando é aplicada pressão por um êmbolo de 2,16 Kg, a 280°C, pois é a temperatura aproximada usada no processamento. Sabendo que os materiais usados são: um PBT com 15% de fibra de vidro (Valox) e outro PBT com 30% de fibra de vidro (Kingfa), e que a sua temperatura de fusão varia entre 240°C e 260°C.



Figura 17 - Equipamento do ensaio de fluidez

Foram recolhidas amostras num período de 10 em 10 segundos, porque neste curto espaço de tempo já se conseguia obter material suficiente para ser possível analisar, fazendo ensaios com material virgem e reciclado para comparar a sua fluidez.

4.6 DSC

O DSC é a técnica que se utiliza para estudar o que acontece ao polímero quando este é sujeito a altas temperaturas. É usado para averiguar aquilo que se designa como “transições térmicas” de um polímero, isto é, as mudanças que ocorrem no polímero quando é aquecido (como por exemplo, a fusão de um polímero cristalino). [18]

A técnica é realizada num dispositivo como se demonstra nas figuras seguintes:

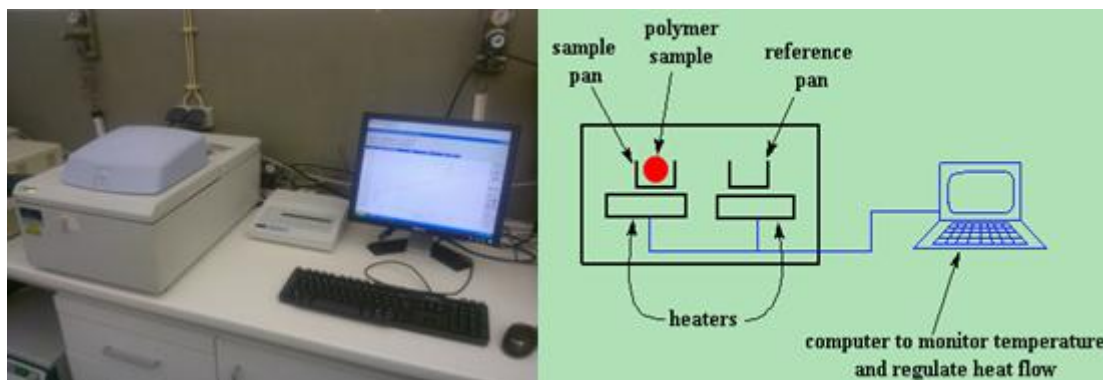


Figura 18 – Equipamento do DSC [18]

É uma técnica bastante simples. Possui dois pratos e duas cápsulas. Uma contém uma amostra de polímero e a outra (prato de referência) fica vazia. Cada prato fica em cima de um forno, que é controlado a partir de um computador.

Assim, o computador liga os fornos e indica uma temperatura específica, normalmente aos 10°C por minuto. O computador certifica-se de que a taxa de aquecimento permanece exatamente a mesma durante toda a experiência.

Mas, mais importante, é assegurar-se que os dois pratos e os seus dois fornos separados, aquecem da mesma forma.

No entanto não aquecem ao mesmo ritmo pois um prato contém um polímero e o outro não. A amostra de polímero revela que existe material extra no prato. Isto implica a necessidade de aplicar mais calor para que a temperatura do recipiente da amostra aumente em função do ritmo que a panela de referência.

Desta forma, o forno que se encontra por baixo do prato de amostra tem de trabalhar mais do que o forno por baixo do prato de referência. Tem de libertar mais calor. Ao calcular a quantidade de temperatura que é expedida, é, assim, medido o DSC. [18]

Efetivamente é feito um gráfico em que no eixo do X se marca a temperatura e no eixo do Y se vê a quantidade de fluxo de calor. [18]

Capacidade de calor

Quando se começa a aquecer os dois pratos, o computador irá traçar a diferença na produção de calor dos dois fornos em função da temperatura. Isto quer dizer, que se delineia o calor absorvido pelo polímero em relação à temperatura. O gráfico será parecido com o exposto em baixo.

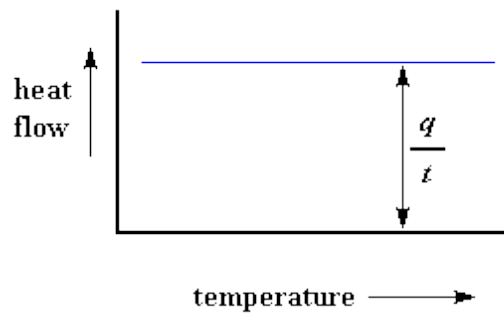


Figura 19 - Calor absorvido pelo polímero em relação à temperatura [18]

A temperatura de transição vítrea

Quando se aquece o polímero um pouco mais, a partir de uma certa temperatura, a linha vai-se deslocar para cima, como esta:

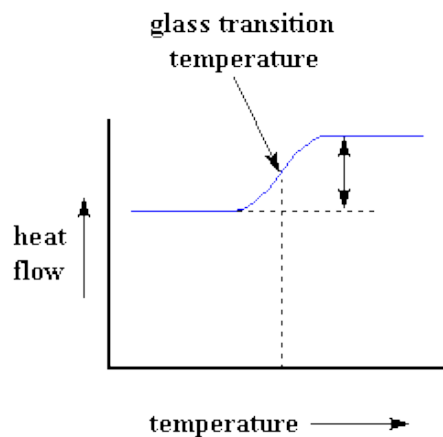


Figura 20 - Temperatura de transição vítrea [18]

Isso significa que se começa agora a obter mais fluxo de calor e também um aumento na capacidade de recebimento de calor do polímero. Isto acontece porque a amostra tinha acabado de passar pela transição vítrea e porque os próprios polímeros têm uma capacidade de aquecimento elevada. Note-se que a mudança não ocorre de repente, mas sim ao longo de um período de temperatura e que a T_g encontra-se a meio da inclinação. [18]

Cristalização

Acima da transição vítrea, os polímeros possuem muita mobilidade. São passíveis de serem remexidos e moldados, e nunca ficam numa mesma posição por muito tempo. Quando atingem uma certa temperatura, ganham energia suficiente para se moverem para arranjos ordenados, que se chama de arranjos cristalinos.

Quando os polímeros começam a cristalizar, emitem calor. E quando este calor é libertado, permite que o computador não necessite de colocar a quantidade de calor necessária para manter a temperatura da amostra, logo reduz trabalho. Pode-se ver essa mesma queda no fluxo de calor neste gráfico:

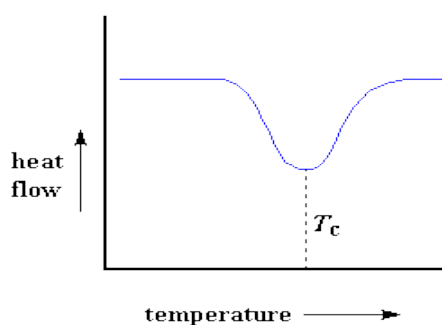


Figura 21 - Temperatura de cristalização [18]

Esta queda demonstra diversos elementos importantes. A temperatura ao ponto mais baixo da imersão é geralmente considerada como a temperatura de cristalização do polímero, ou T_c . Além disso, pode-se medir a área da quebra, que dirá qual a energia necessária para a cristalização do polímero. Mas mais importante ainda, diz-nos que o polímero pode cristalizar. Se analisarmos um polímero 100% amorfo, não conseguiríamos obter estas quedas, porque esses materiais não cristalizam. [18]

Fusão

O calor permite a formação de cristais num polímero, mas se for demasiado exposto ao mesmo pode acabar por ser destruído. Se continuarmos a aquecer o polímero após o seu T_c , eventualmente, chegaremos a outra transição térmica, a de fusão. Quando atingir a temperatura de fusão do polímero, ou T_m , os cristais do polímero começam a desintegrar-se, ou seja, derretem. Eles saem dos arranjos e começam a movimentar-se livremente. Através do DSC, podemos detetar isso mesmo.

Quando se atinge a T_m , forma-se um calor proveniente da fusão e outro da cristalização. Quando os cristais do polímero se fundem, devem absorver o calor, pois a fusão é de transição da primeira ordem. Isso significa que quando atinge a temperatura de fusão, a temperatura do polímero não sobe até que todos os cristais fundam. Logo o prato sob o forno da amostra vai ter que sujeitar o polímero a uma grande quantidade de calor, a fim de fundir os cristais e equiparar com o aumento da temperatura do prato de referência. Este fluxo de calor extra, durante a fusão, revela-se como um pico no DSC:

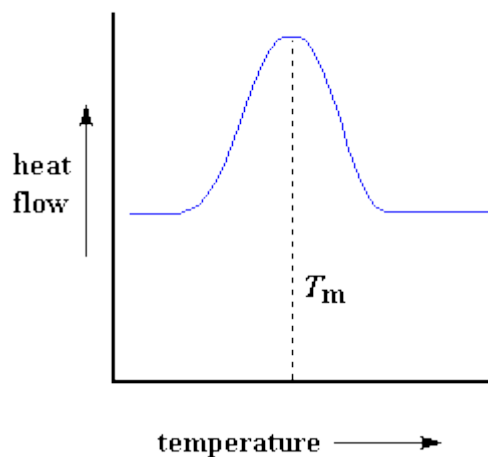


Figura 22 - Temperatura de fusão [18]

Pode-se medir o calor proveniente da fusão através da medição da área deste pico. E, claro, que geralmente se utiliza a temperatura registada no topo do pico por ser a de fusão do polímero, a T_m . Ao processo de energia que tem de ser adicionada ao polímero para que este volte a fundir, designa-se como “transição endotérmica”. [18]

Analizando todo o conjunto

Em suma, observou-se a linha no gráfico quando o polímero foi aquecido após a sua temperatura de transição vítrea. Depois constatou-se uma grande queda quando o polímero atingiu a sua temperatura de cristalização. E, finalmente, verificou-se um grande pico quando este atingiu a temperatura de fusão. Pode-se observar tudo isto, no gráfico a baixo:

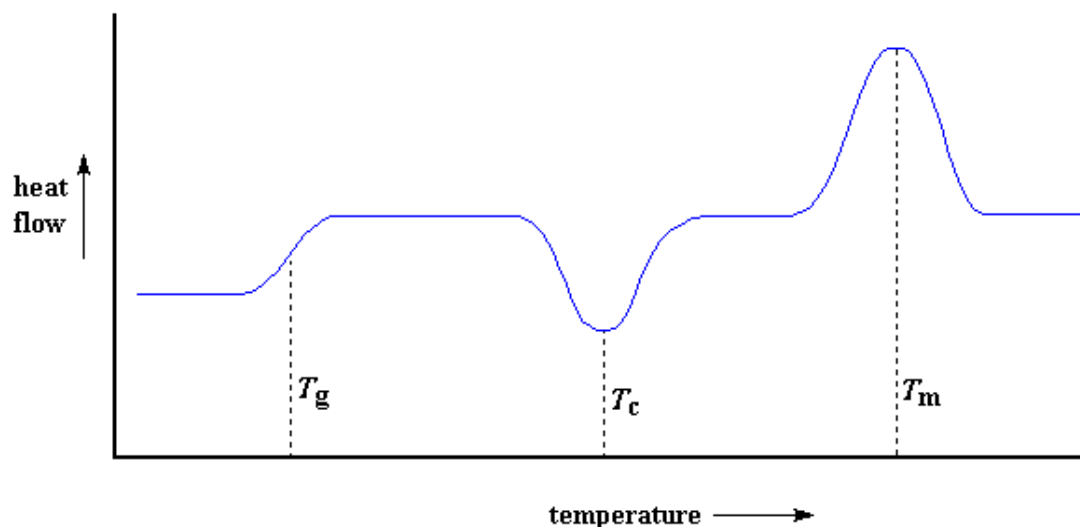


Figura 23 - Conjunto de todas as temperaturas [18]

No entanto, nem tudo o que aqui aparece, se obtém no DSC. O pico de fusão, apenas é visível em polímeros cristalinos ideais. Polímeros amorfos não mostraram nenhum tipo de cristalização ou ponto de fusão, têm apenas T_g . Mas polímeros com ambos os domínios, cristalinos e amorfos, ou seja semi-cristalinos, podem mostrar os pontos que se viu em cima. [18]

Sendo assim com esta técnica, conseguiu-se então analisar os dois materiais, PBT com 15% e 30% de fibra de vidro com objetivo de verificar qual a sua T_f "real", isto é, ver se o valor dado na ficha técnica dos materiais era igual, e comparar a T_f entre o material virgem e reciclado.

5.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo mostra-se quais os resultados obtidos nos copos em PBT, mais concretamente sobre os copos (5735 PBT 30% GF CZ e 573550 PBT 15% GF) num molde de canais quentes de 8 cavidades.

Como já indicado anteriormente, estes apresentavam vários defeitos, não sendo por isso vantajoso para a empresa.

Desta forma o objetivo foi melhorar/corrigir os defeitos. Isto é visível nos pontos seguintes (5.1 até 5.6), onde se explica como se foi elaborando o estudo das peças em questão e quais os resultados.

Na maior parte desses pontos estão inseridas tabelas referentes a cada copo. Essas mesmas estão divididas por ensaios, em que cada um contém várias experiências. Cada uma destas experiências mostra a distância entre as paredes de cada peça associada à sua cavidade ou então um desenho que demonstra a deformação da peça e os valores das variáveis usadas no processo. Sendo que as variáveis relativas a fase de injeção são as seguintes: temperaturas do cilindro ($T_{cil.}$), dos canais quentes (T_{CQ}) e dos aparelhos de refrigeração do lado fixo e lado móvel (T_{fixo} e $T_{mov.}$), tempo de injeção (t_1) e tempo de pressurização (t_2) e arrefecimento (t_{arref}), pressão de injeção (P_1) e segunda pressão (P_2), velocidades de injeção (v_1 e v_2). Relativamente à fase de plasticização temos: curso do fuso (S), velocidade do fuso (N) e pressão de plasticização (P).

Algumas das tabelas mais relevantes encontram-se nas páginas seguintes. Contudo, em anexo, é possível consultar as restantes tabelas de ensaios intermédios.

5.1 Estudo das variáveis relevantes do processo

Tabela 5 – Medidas e parâmetros do copo 573550























	ENSAIO 1												
CAV.	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	#8a)	# 9	# 10	# 11	# 12
1	30,45	30,16	30,06	31,57		31,58		31,73					31,51
2	30,54	30,18	30,48	31,63				31,86					31,55
3	30,59	30,43	30,56	31,20				31,48		31,45	31,72	31,44	31,48
4	30,61	30,19	29,87	31,19				31,44	31,95	31,49	31,53	31,19	31,30
5		30,16			31,39	31,29							
6		30,25			31,63	30,70							
7		30,52			31,30								
8		30,40			31,49								
Média	30,55	30,29	30,24	31,40	31,45			31,63					31,46
Parâmetros Processo													
Tfixo (°C)	60 (A)	60 (A)	60 (A)	60 (O)	60 (O)	65/75 (A)	80 (A)	70 (A)	70 (O)	75 (A)	80 (A)	80 (A)	70 (A)
T real placa trás (°C)						73-76	85-87	77-79	85-90	82-83	85-86	85-87	78
T real pl.frente (°C)						78-81	80-84	73-76		77-79	80-83		71-75
Tmov(°C)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	70 (A)	75 (A)	75 (A)	70 (A)	70 (A)	70 (A)	70 (A)	70 (A)	75 (A)	75 (A)
T real (°C)						102-112	101-108	99-109		101-107	101-108	103-111	102-110
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	275/280	275/280	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	275/275	275/275	275/275	265/270	265/270	280/285	275/290	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270
P1 (bar)	165	165	165	165	165	175	175	170	170	175	175	175	175
t1 (seg)	0,55	1,10	0,55	0,65	0,65	1,20	1,20	0,70	0,70	0,70	0,70	0,75	0,75
v1 (mm/s)	100	100	100	100	100	130	130	100	100	100	100	100	100
P2 (bar)	40	40	40	40	40	40	35	45	45	45	45	45	45
t2 (seg)	2,00	2,00	2,00	0,70	0,70	0,70	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
v2 (mm/s)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Tabela 6 - Medidas e parâmetros do copo 573550

	ENSAIO 1										
CAV.	# 13	# 14	# 15	# 16	# 17	# 18	# 19	# 20	# 21	# 22	# 23
1											
2											
3	31,78	31,81	31,43								
4	31,70	31,79	31,39								
5				31,37	31,20	31,72	31,71	31,74	31,83	31,34	31,24
6				31,66	31,60	31,98	31,81	31,86	31,89	31,40	31,31
7				31,39	31,35	31,79	31,54	31,73	31,73	31,20	31,19
8				31,56	31,48	31,93	31,76	31,85	31,90	31,34	31,31
Média				31,50	31,41	31,86	31,71	31,80	31,84	31,32	31,26
Parâmetros Processo											
Tfixo (°C)	60 (O)	60/65 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	75 (A)	70/75 (A)
T real placa trás (°C)						77-79				80-84	76-79
T real pl.frente (°C)						80-87				77-82	
Tmov(°C)	75 (A)	75 (A)	80/75 (A)	80 (A)	80 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)
T real (°C)						106-110				104-110	
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	265/275	265/275	265/275	265/270	265/270	265/270	275/275	275/275	275/275	265/270	265/270
P1 (bar)	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
t1 (seg)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,70	0,70
v1 (mm/s)	120	120	120	110	110	125	125	125	125	110	110
P2 (bar)	40	40	40	40	40	40	40	50	54	40	40
t2 (seg)	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60	0,70	0,60	0,70	0,70	0,70	0,70
v2 (mm/s)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7

Anteriormente à realização deste estudo, já a empresa tinha iniciado alguns ensaios. Porém, não conseguiram melhorar o processo, nem retirar qualquer conclusão, pois não obtiveram peças com a qualidade desejada. Era necessária uma constante alteração do valor das variáveis operatórias à medida que se iam produzindo os copos. No entanto, de produção para produção, constatava-se que nunca se mantinham os mesmos valores.

Ambicionava-se ter um processo automático, estável e que obtivesse peças com qualidade para entregar ao cliente, o que acabou por não acontecer, uma vez que era necessária a presença constante de um operador. Tendo em conta que no processo se utilizava material virgem e material reciclado, ou seja, à medida que saíam peças com defeito (rebarba/ratadas) e jito das peças extraídas, as mesmas iam para um moinho, onde eram trituradas e depois puxado pelo aspirador uma certa percentagem X de material reciclado, para entrar de novo no fuso. Nesta altura, ainda só se produziam copos 573550.

Diante deste cenário, iniciou-se o estudo a partir das tabelas representadas anteriormente, tentando-se perceber quais as variáveis mais relevantes do processo.

Pode-se constatar que no início da produção dos copos não se obtiveram peças com a cota mínima de 31,5 mm de distância entre as paredes (valores a vermelho), e/ou o facto de as peças saírem deformadas. Ao se executarem experiências com 8 e 4 cavidades (onde se colocava um dos dois canais quentes com temperatura inferior para entupir e trabalhava-se apenas com 4 cavidades), alterando os valores das variáveis, a temperatura de refrigeração e o tipo de aparelho de refrigeração (água ou óleo), não se conseguiu, todavia, adquirir o desejado até a experiência #18.

Foi precisamente nessa experiência (4 cavidades) que se obtiveram os melhores resultados, na qual as peças saíram com melhor qualidade e com maior distância entre as paredes. Não obstante e segundo a informação dada pelo diretor de produção, o processo não se mantinha estável, o que originava a permanente mudança do valor das variáveis. Por conseguinte não se pode dizer assertivamente que os valores ideais são os da experiência #18, pois só foram utilizados durante algum período de tempo, dando continuidade à realização de mais experiências.

Se comparar a experiência #4 com a experiência #18, verifica-se que as únicas diferenças entre estas são o P1,t1 e v1. Estas 3 variáveis são importantes para se conseguir

obter uma peça com qualidade, e quanto maiores forem os seus valores, melhor a qualidade do produto final.

Apesar disso, pode-se comparar mais razoavelmente isto mesmo nas experiências #19, #20, #21, onde se mantiveram as variáveis anteriormente alteradas nas 3 experiências, modificando-se apenas o valor de P2 e t2, em cada uma. Verifica-se que à medida que se aumenta o valor de P2 e t2, a distância entre as paredes vai aumentando. Este é o objetivo pretendido, caso não forme um empeno, visível para fora da peça (a chamada “barriga”). Os valores de distância entre as paredes aceites pelo cliente são no máximo de 34,5 mm e no mínimo de 31,5mm.

Analisando os valores conseguidos, pode-se concluir assim que as variáveis cruciais para o processo seriam as de P1, t1, P2 e t2, pois indicavam ter um papel interessante no comportamento e qualidade da peça.

Posteriormente, elaboraram-se ensaios para demonstrar se as variáveis eram realmente importantes para a contração/empeno, como foi verificado nas tabelas anteriores. Sabendo que o processo se apresentava instável e com fraca qualidade das peças, em primeiro lugar dever-se-ia tentar melhorar a qualidade da peça e, só depois, ver quais as causas do processo para se apresentar instável.

5.2 Contração / Empeno

Tabela 7 - Medidas e parâmetros do copo 573550

	ENSAIO 4 - 16/10/2013					ENSAIO 5 - 16/10/2013				
CAV.	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
1										
2										
3										
4										
5	31,76	31,8	32,01	31,93	31,7	31,33	31,67	31,54	31,98	31,92
6	31,86	31,96	31,94	31,99	31,76	31,31	31,53	31,56	31,85	31,95
7	31,71	32	31,81	32,01	31,68	31,37	31,55	31,47	31,74	31,76
8	31,80	31,95	31,91	32,05	31,74	31,28	31,50	31,52	31,82	31,75
Média	31,78	31,93	31,92	32,00	31,72	31,32	31,56	31,52	31,85	31,85
Parâmetros Processo										
Tfixo (°C)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	65 (A)	65 (A)	65 (A)	65 (A)	65 (A)
T real placa trás (°C)										
T real pl.frente (°C)										
Tmov(°C)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)
T real (°C)										
T cil.(°C)	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270
T CQ (°C)	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265
P1 (bar)	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
t1 (seg)	0,62	0,59	0,59	0,59	0,59	0,57	0,57	0,57	0,57	0,64
v1 (mm/s)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
P2 (bar)	60	60	60	65	65	62	62	62	70	70
t2 (seg)	0,80	0,90	0,90	0,95	0,80	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00
v2 (mm/s)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Plasticização										
S (mm)	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60
N (rpm)	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
P (bar)	35	35	35	35	35	10	10	10	15	16
	Material virgem					Puxa 45% de mat. reciclado + virgem				

Na tabela 7, pode-se verificar que a mesma possui mais quantidade de dados de variáveis em relação às tabelas anteriores, para que se possa controlar melhor o processo. Isto acontece porque durante a plasticização nos outros casos, podia-se ter mudado esses valores e assim não se obtinha esse conhecimento. Desta forma decidiu-se que seria melhor controlar as variáveis na plasticização.

Estes ensaios foram realizados para se verificar se as variáveis P1, t1, P2 e t2 seriam assim tão importantes para a melhoria da contração/empeno (distância entre paredes) da peça, como se tinha comprovado nos primeiros estudos, tendo em conta a utilização de material reciclado e virgem. Assim sendo, foi feito o ensaio 4 utilizando só e apenas material virgem e o ensaio 5 com material virgem e reciclado (como é feito normalmente).

No ensaio 4, comprova-se que se conseguem obter bons resultados. Os melhores foram obtidos com os valores mais altos das variáveis, tal como era esperado, seguindo a linha dos primeiros ensaios.

Para o ensaio 5, utilizou-se material virgem e puxou-se 45% de material reciclado, mas entretanto alterou-se o aparelho de refrigeração no lado fixo do molde. Usava-se um aparelho a óleo, no lado fixo, e um aparelho a água, no lado móvel. Supostamente, utilizou-se sempre este método porque com dois aparelhos a água, não era possível obter peças. Assim, neste ensaio, fez-se essa experiência e corroborou-se que era exequível refrigerar o molde com aparelhos a água. Apesar disso aumentou-se a temperatura de refrigeração no lado fixo, utilizando, numa primeira fase óleo a 60°C e depois aparelho de água a 65°C. Fez-se essa pequena alteração pois a temperatura dos aparelhos não se mantinha a 60°C, subia sempre um pouco mais, e assim, a 65°C, o aparelho permanecia estável e mantinha a temperatura.

Além disto, pode-se verificar que foi necessário baixar o valor da pressão na plasticização, de 30 bar para 10 bar (isso porque os resultados não eram aceitáveis). Aumentou-se a pressão de 10 bar para 15bar, e depois para 16 bar, tendo em conta que o último valor era o que mantinha o valor da almofada constante.

No ensaio em causa, as melhores experiências foram as de #4 e #5 (valor das variáveis P1, t1, P2 e t2 mais altos em relação às outras experiências) onde a pequena diferença entre as duas encontra-se no tempo de injeção. No entanto, os resultados finais foram os mesmos. O tempo de injeção na experiência #4 é inferior comparado com o da experiência #5, isto porque este já se encontrava no final da produção e praticamente só continha material virgem, logo necessitava de um maior tempo de injeção.

Pode-se depreender então que para o copo 573550, as variáveis P1 e t1 são essenciais para o enchimento da peça e as variáveis P2 e t2 para controlar a distância entre paredes dos copos, ou seja, quanto maior o valor dessas variáveis, maior será a distância entre as paredes, não sendo possível exceder um certo valor para que não cause empeno para o exterior da peça (a chamada “barriga”).

Ainda assim, além da importância dos valores das variáveis mais relevantes para o processo, também era pertinente saber qual o valor da temperatura do molde. Como indicado no ponto 2.7.7, a temperatura ideal do molde, usando este tipo de material (PBT 15% FB, Valox), é de 80°C. Posto isto, com um termopar, mediram-se as temperaturas do molde. As referências assim obtidas foram ilustradas na figura 24.

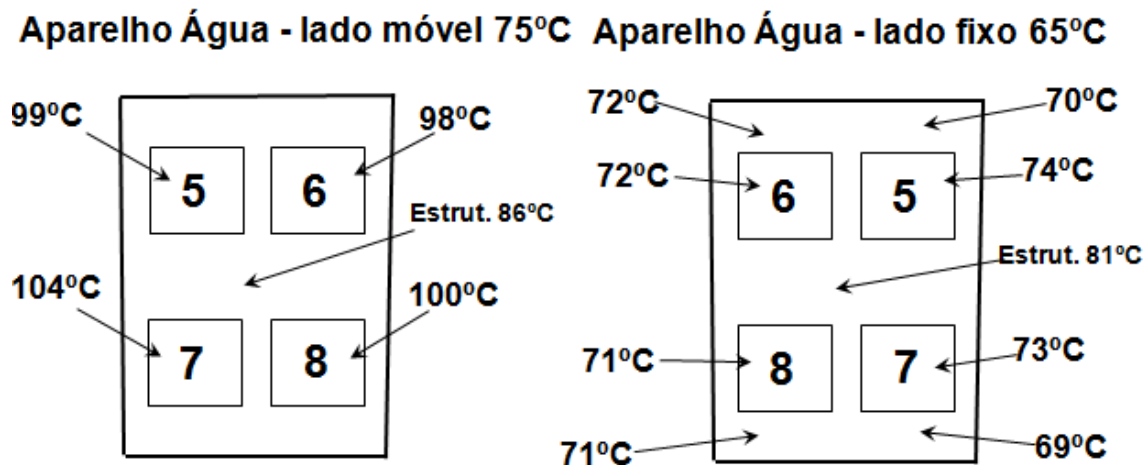


Figura 24 – Temperaturas das cavidades/buchas 5, 6, 7 e 8 do molde

A temperatura da estrutura aproxima-se do valor ideal e as temperaturas das cavidades/buchas estão mais elevadas, o que já era esperado devido às altas temperaturas a que o material é injetado. Sendo assim considera-se estes valores aceitáveis, na medida em que já se obtinha copos com a distância entre as paredes pretendida pelo cliente.

Tabela 8 - Medidas e parâmetros do copo 5735

	ENSAIO 1 - 22/08/2013				
CAV.	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
1	31,69	32,25	32,45	30,92	31,07
2	31,71	32,28	32,39	30,83	31,25
3	31,67	32,15	32,32	30,90	31,30
4	31,95	32,31	32,35	30,86	31,09
5					
6					
7					
8					
Média	31,76	32,25	32,38	30,88	31,18
Parâmetros Processo					
Tfixo (°C)	70 (A)	70 (A)	70 (A)	70 (A)	70 (A)
T real placa trás (°C)					
T real pl.frente (°C)					
Tmov(°C)	80 (0)	80 (0)	80 (0)	80 (0)	80 (0)
T real (°C)					
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265
P1 (bar)	150	150	150	150	150
t1 (seg)	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
v1 (mm/s)	130	130	130	130	130
P2 (bar)	60	60	60	25	25
t2 (seg)	0,77	0,85	0,90	1,00	1,00
v2 (mm/s)	67	67	67	67	67
t.arref. (s)	6	6	6	6	6
Pressão comutação (bar)					
Ponto comutação (mm)					
Plasticização					
S (mm)					
N (rpm)					
P (bar)					

Em relação ao tipo de material utilizado no copo 5735 sabe-se que é o PBT 30% FB (Kingfa) e que é diferente do outro material utilizado na percentagem de fibra de vidro. Este só começou a entrar em produção nesta altura, caracterizando-se como o primeiro ensaio. Fizeram-se os mesmos ensaios para os dois copos, visto que eram esperadas algumas diferenças nos valores das variáveis.

Este ensaio, como foi dito anteriormente, realizou-se para verificar se as variáveis P1, t1, P2 e t2 eram fundamentais para a melhoria da contração/empeno (distância entre paredes) da peça, como se tinha verificado nos primeiros estudos do copo 573550.

Neste ensaio, comprovou-se que acontece o mesmo nos dois copos, isto é, quanto maior o valor de P2 e t2, maior será a distância entre as paredes, ou seja, menor será a contração/empeno para o interior da peça. Como se pode ver, o valor médio da distância entre as paredes é maior do que no outro copo, isto acontece porque como se trata de um material com maior quantidade de fibra de vibro, origina menor contração/empeno da peça.

Além de se verificar as variáveis mais substanciais para o processo, também era importante saber o valor da temperatura do molde, como foi feito no estudo do outro copo. Como indica o capítulo 2.7.7, a temperatura ideal do molde, usando este tipo de material (PBT 35% FB, Kingfa), é de 80°C. Sendo assim, através de um termopar, calcularam-se as temperaturas do molde e também as obtidas, que foram ilustradas na figura 25.

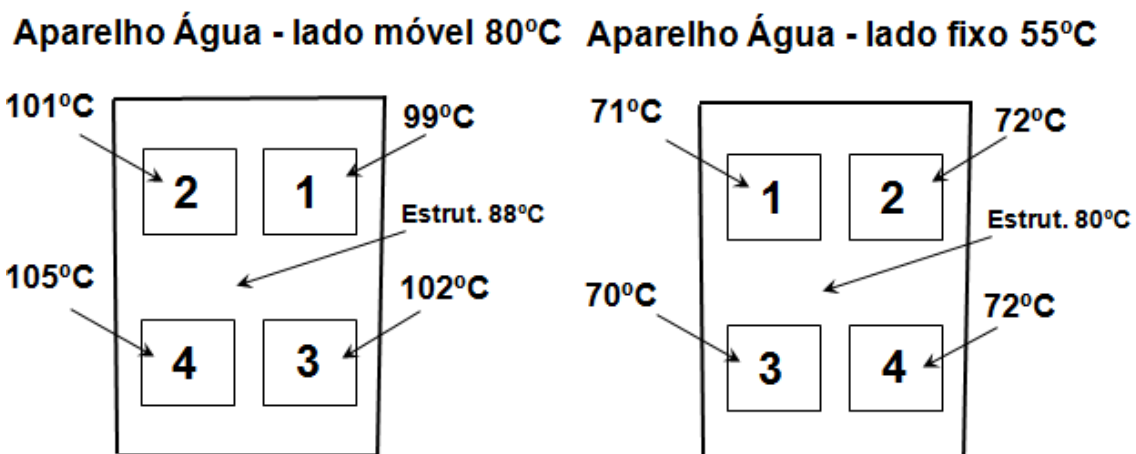


Figura 25 - Temperaturas das cavidades 1, 2, 3 e 4 do molde

A temperatura da estrutura aproxima-se do valor tipo e a das cavidades/buchas estão mais elevadas, o que já era espectável devido às altas temperaturas a que o material é injetado. Desta forma considera-se que os valores são aceitáveis, pois já obtêm copos com a distância entre as paredes desejada pelo cliente.

Foi observado neste ensaio que o problema da contração/empeno do copo, não se manifestou problemático para obter o produto pretendido. No entanto o mesmo apresentava-se contaminado, isto é, observavam-se riscos e/ou pontos pretos. No outro copo, tal característica não era visível devido à sua cor (preto), mas sendo este de cor cinza, isso era perceptível. Assim efetuaram-se de seguida ensaios ao material Kingfa.

5.3 Contaminação

Visto que surgiram alguns riscos/pontos pretos no nosso copo 5735 (cor cinza), foi necessária a realização de novos ensaios de DSC ao material virgem e reciclado, pois essas contaminações só poderiam ser causadas devido à degradação do material, que sempre que é usado, leva a que o molde e o cilindro sejam limpos.

O DSC é a técnica que se utiliza para estudar o que acontece ao polímero quando este é sujeito a altas temperaturas. É usado para averiguar aquilo que é designado como “transições térmicas” de um polímero, isto é, as mudanças que ocorrem no polímero quando é aquecido.

Nas figuras seguintes (26 e 27), apresentam-se os gráficos de DSC obtidos no material virgem e no material reciclado, que foram sujeitos (cada um) a dois aquecimentos. Isto porque o primeiro aquecimento serve para eliminar a história térmica do material e o 2º aquecimento para revelar a história imposta pelo DSC. Sendo os dois materiais sujeitos ao mesmo processo de aquecimento, pode-se comparar de modo igual para igual.

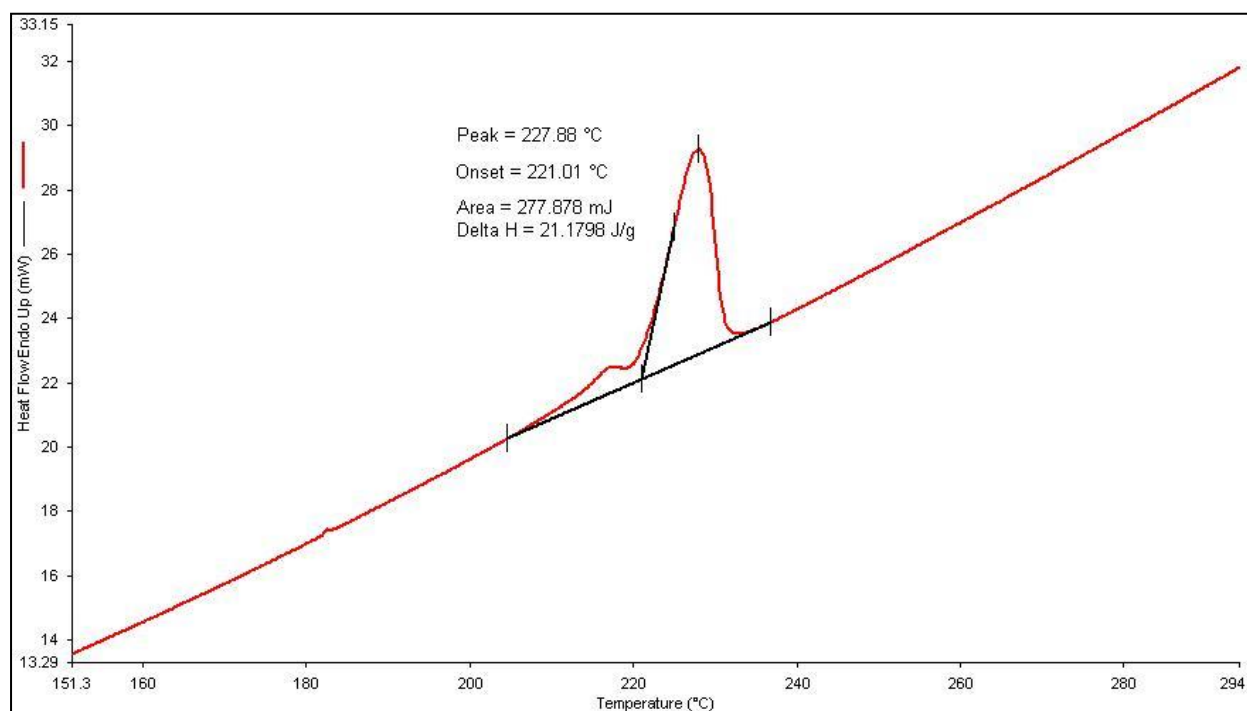


Figura 26 – DSC do material virgem (2º aquecimento)

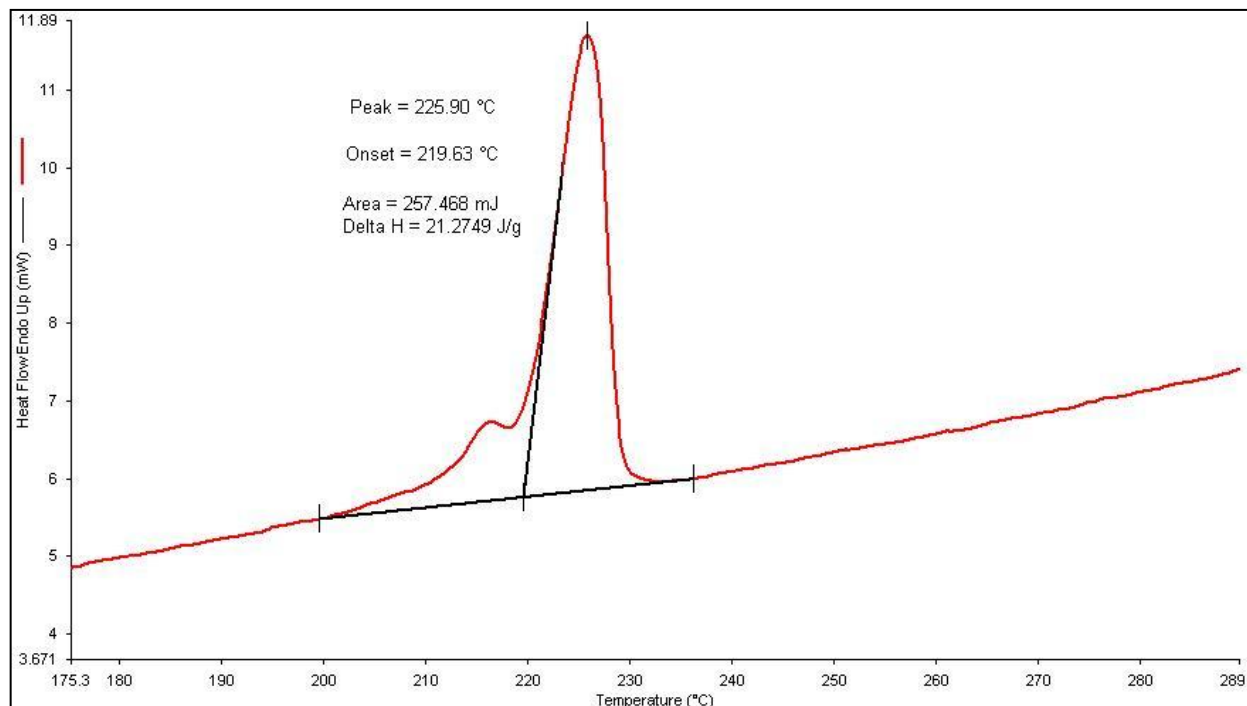


Figura 27 – DSC do material reciclado (2º aquecimento)

Pelos gráficos anteriores, pode-se conferir que os valores de Peak, Onset, Área e Delta H são muito idênticos. Como o principal objetivo era detetar se o material degradava ou não durante o processo, verificava-se pela comparação da entalpia entre o material reciclado e matéria virgem e ainda pela curva acentuada a subir ou descer, feita pelo gráfico depois do pico de fusão, se detetava o desejado. Comparando-se assim a entalpia dos dois materiais, sendo este valor muito idêntico, revelou-se que estes não sofrem qualquer degradação. Em relação à curva bastante acentuada (a subir ou a descer), que o gráfico poderia demonstrar caso se degradasse, não é visível nos dois gráficos, o que indica que o material não se alterava pelo menos até aos 300°C.

Com este ensaio também se pretendia saber qual a temperatura de fusão do material virgem e do material reciclado e comparar assim com o valor dado com a ficha técnica do material (entre 240°C e 260°C). O valor dado no DSC e o da ficha técnica têm uma diferença de temperatura de mais ou menos 20°C. Mesmo assim os valores que se usam no processamento dos copos não fazem com que o material se degrade. Como é verificável pelos gráficos e em outros processos em que se usava o mesmo material, com as mesmas temperaturas e, no entanto, este continuava a não apresentar contaminações nas peças em questão.

Sendo assim, como já era especulado, a contaminação poderia ter a ver com o uso de apenas um dos canais quentes. Ou seja, quando se usam 4 cavidades e um dos canais quentes se encontrava a temperaturas mais baixas, este ficava entupido com o material. Este material, com o passar do tempo, ia se degradando e era arrastado para o canal quente em uso, o que originava peças contaminadas. Para comprovar isso, fez-se uma experiência em que se produzia o copo 5735 e assim saíam algumas peças contaminadas. Para alterar esse facto, procedeu-se ao aumento da temperatura do canal quente, que estaria, não só com a temperatura mais baixa, mas também entupido com material. Logo, o que se pode observar é que assim que o canal se encontrou desentupido, apenas libertava material degradado. Isso vinha comprovar o que já era esperado.

Também se optou por baixar um pouco o valor dos canais quentes para este material de modo a prevenir uma menor degradação do mesmo, e assim pelo menos extrair um menor número de copos contaminados. A temperatura usada era de 265°C e baixou-se até 10°C, não sendo possível de minimizar ainda mais porque, de tal forma, o material sentiria dificuldade em fluir, a temperaturas mais baixas. Na tabela 9, ilustrada na página seguinte, mostra-se que essa alteração foi feita.

Sendo assim, para o copo 5735, utilizando apenas 4 cavidades, surgiria esse problema de contaminação. Usando este molde com canais quentes, só se conseguiria solucionar o problema se utilizassem as 8 cavidades.

Antes de serem feitos esses ensaios, para 8 cavidades, ainda era necessário encontrar a resposta para outra questão. Pois com as 4 cavidades já se tinha descoberto como melhorar a qualidade da peça e quais os problemas que esta poderia ter, contudo ainda não estava solucionado o problema de se apresentar instável, isto é, várias vezes por dia, ter-se-ia de mudar e ajustar o valor das variáveis para que não saíssem peças ratadas e/ou com rebarba (essencialmente t_1 e t_2).

De seguida aborda-se o tema em questão, de modo a se realizarem estudos aos materiais utilizados (Valox e Kingfa).

Tabela 9 - Medidas e parâmetros do copo 5735

	ENSAIO 3- 04/02/2014	
CAV.	# 3	# 4
1	31,58	31,58
2	31,52	31,69
3	31,5	31,64
4	31,7	31,67
5		
6		
7		
8		
Média	31,58	31,65
Parâmetros Processo		
Tfixo (°C)	55 (A)	55 (A)
T real placa trás (°C)		
T real pl.frente (°C)		
Tmov(°C)	80(A)	80(A)
T real (°C)		
T cil.(°C)	270/275	270/275
T CQ (°C)	250/255	250/255
P1 (bar)	160	160
t1 (seg)	0,61	0,61
v1 (mm/s)	127	127
P2 (bar)	60	60
t2 (seg)	0,40	0,40
v2 (mm/s)	50	50
t.arref. (s)	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11
Plasticização		
S (mm)	50; 80	50; 80
N (rpm)	120	120
P (bar)	5	5
	Puxa 25% de mat. Reciclado + virgem	

5.4 Instabilidade do processo

Como já foi indicado anteriormente, o processo em causa apresentava-se instável, o que levava a uma constante verificação da produção (ver se parava devido ao facto de não serem injetadas peças, ou então se saíam peças com rebarba ou ratadas) e a uma alteração sistemática dos parâmetros de processamento. Utilizando, na produção dos copos, material virgem e reciclado era de suspeitar que este fator apresentasse as suas consequências. Isto na medida em que o material reciclado perde sempre algumas das suas propriedades em relação ao material virgem, ou seja, as ligações/fibras do material são quebradas, facilitando a sua fluidez e diminuindo a sua resistência, entre outros aspetos.

Para comprovar este facto, decidiu-se fazer o ensaio de MFI, para se descobrir qual a diferença de fluidez entre o material virgem e o reciclado, dos dois tipos de materiais (Valox e Kingfa). Uma vez que isto poderia apresentar-se como uma das causas para que o processo não se mantivesse estável.

Recolheram-se amostras de 10 em 10 segundos, pois neste curto prazo de tempo já se obtinha material suficiente para ser possível de ser analisado. Depois de recolher 6 amostras de material virgem e reciclado, teve-se que pesar cada amostra para verificar em qual das matérias, se obtinha maior peso, ou seja, maior fluidez.

Tabela 10 – MFI do material Valox (copo 573550)

	Reciclado (g/ 10mins)	Virgem (g/10mins)
1	94.26	31.02
2	46.68	20.76
3	72.60	18.00
4	58.80	26.46
5	70.32	30.76
6	46.64	15.96
<u>Média</u>	64.90	23.81
<u>Desvio Padrão</u>	16.6	5.9

Observa-se pela tabela 10 (relacionada com o material Valox) que o material reciclado obtém maior peso, ou seja, flui praticamente três vezes mais do que o material virgem. Como o material reciclado flui mais, é injetado em maior quantidade e a peça surge com rebarba. Aí é obrigatório ajustar os parâmetros de processamento e de seguida, alterá-los novamente, isto porque o fuso recolheu menos material reciclado do que na injeção anterior, e então como o virgem flui menos, a peça fica ratada.

Tabela 11 - MFI do material Kingfa (copo 5735)

	Reciclado (g/ 10mins)	Virgem (g/10mins)
1	92.22	68.4
2	94.2	59.64
3	86.82	62.28
4	96	61.8
5	94.26	63.48
6	93.24	64.2
<u>Média</u>	92.81	63.3
<u>Desvio Padrão</u>	2.87	2.69

O mesmo se constata na tabela 11, neste caso relacionada com o material Kingfa, que é o material reciclado que obtém maior peso, ou seja, flui praticamente duas vezes mais do que o material virgem. Levando em consideração que, apesar de fluir menos do que no material anterior, constatavam-se os mesmos problemas na produção do copo, da mesma forma.

Posto isto, nos dois tipos de material (Valox e Kingfa), para que o processo se mantivesse estável, considerou-se duas hipóteses a estudar: a circunstância em que seria o operador a misturar o material e a colocar sempre a mesma quantia ou usar apenas material virgem, o que não seria tão económico para a empresa. A melhor solução é o controlo da mistura de material virgem e reciclado passar a ser controlado pelos colaboradores, obtendo assim também uma mistura mais homogénea.

O facto dessa mistura conter uma maior quantidade material virgem do que material reciclado leva a uma melhoria das propriedades da peça, isto é, com mais material virgem podem-se obter melhores medidas, como se verificou em ensaios realizados. Como a empresa tinha já calculado a percentagem de material gasto com o jito, usada na produção dos copos, foi mais fácil achar a quantia de material reciclado a utilizar. Essa percentagem era de 13%, ou seja, em cada 10kg de material virgem misturava-se 1,3 kg de material reciclado.

Depois de feita a mistura e de realizado o ensaio, pode-se constatar que o processo manteve-se estável, assim como era pretendido, otimizando o processo. À medida que foram feitas produções dos copos, também se aumentou, muito pouco, a quantidade de material de reciclado a usar, porque por vezes sobrava material reciclado devido à rejeição de algumas peças no arranque, que depois eram recicladas. Aumentou-se então para 1,8Kg de material reciclado em cada 10kg de material virgem, mantendo sempre o processo em questão estável, ou seja, sem ser necessário estar sistematicamente a fazer alterações nos parâmetros e, mesmo assim, não extraíndo peças com rebarba ou ratadas.

Nas páginas seguintes apresentam-se duas tabelas, em que a tabela 12 é relativa aos primeiros ensaios, onde se utilizava o aspirador para puxar uma percentagem de reciclado (neste caso 20% de reciclado contido no moinho) e a tabela 13 relativa aos últimos ensaios, onde já era o operador a fazer a própria mistura, sendo que neste caso se utilizaria 1,3kg de material reciclado, em cada 10kg de material virgem.

Comparando as duas tabelas, verifica-se que a tabela 13 apresenta melhores resultados finais, isto é, um processo estável e uma maior distância entre paredes (menor contração/empeno), concluindo assim que os principais objetivos tinham sido alcançados.

Tabela 12 - Medidas e parâmetros do copo 5735

	ENSAIO 4- 05/02/2014				
CAV.	# 1	# 2	# 3	# 5	# 5
1	31,69	31,70	31,70	32,19	32,00
2	31,79	31,65	31,72	32,37	32,41
3	31,65	31,60	31,59	32,26	32,22
4	31,67	31,66	31,65	32,17	32,21
5					
6					
7					
8					
Média	31,70	31,65	31,67	32,25	32,21
Parâmetros Processo					
Tfixo (°C)	55 (A)	55 (A)	55 (A)	55 (A)	55 (A)
T real placa trás (°C)					
T real pl.frente (°C)					
Tmov(°C)	80(A)	80(A)	80(A)	80(A)	80(A)
T real (°C)					
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	250/255	250/255	250/255	250/255	250/255
P1 (bar)	160	160	160	160	160
t1 (seg)	0,64	0,63	0,63	0,63	0,63
v1 (mm/s)	127	127	127	127	127
P2 (bar)	60	60	60	60	60
t2 (seg)	0,40	0,40	0,40	1,00	0,85
v2 (mm/s)	50	50	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185	185	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11	11	11	11
Plasticização					
S (mm)	50; 80	70; 80	70; 80	70; 80	70; 80
N (rpm)	120	150; 90	150; 90	150; 90	150; 90
P (bar)	5	8; 5	8; 5	8; 5	8; 5
Puxa 20% de mat. Reciclado + virgem					

Tabela 13 - Medidas e parâmetros do copo 5735

	ENSAIO 7 - 14/04/2014	
CAV.	# 1	# 2
1	32,42	32,33
2	32,48	32,37
3	32,43	32,12
4	32,46	32,41
5		
6		
7		
8		
Média	32,45	32,31
Parâmetros Processo		
Tfixo (°C)	55 (A)	55 (A)
T real placa trás (°C)		
T real pl.frente (°C)		
Tmov(°C)	80(A)	80(A)
T real (°C)		
T cil.(°C)	270/275	270/275
T CQ (°C)	250/255	250/255
P1 (bar)	160	160
t1 (seg)	0,76	0,74
v1 (mm/s)	127	127
P2 (bar)	60	60
t2 (seg)	0,55	0,50
v2 (mm/s)	50	50
t.arref. (s)	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11
Plasticização		
S (mm)	70; 80	70; 80
N (rpm)	150; 90	150; 90
P (bar)	8; 5	8; 5
	10 Kg de material virgem + 1,300 Kg de material reciclado	

5.5 Ensaio com 8 cavidades

Por fim, depois de encontrada a melhoria/solução dos problemas anteriormente mencionados, tentou-se obter copos utilizando as 8 cavidades.

Foram-se realizando várias experiências, alterando o valor das variáveis essenciais para o melhor funcionamento do processo e para se alcançarem boas peças, apesar de não se conseguir atingir o desejado com sucesso.

À medida que se realizavam os ensaios, verificava-se que os aparelhos de refrigeração do molde, não mantinham a temperatura normalmente usada para o copo com 4 cavidades. Os aparelhos chegavam a entrar em alarme e, conseqüentemente, a desligar. O bom funcionamento dos aparelhos e a refrigeração das peças são aspetos importantes para a qualidade da peça, pois servem essencialmente para controlar a contração/empeno de uma melhor forma. O molde deve estar a uma temperatura de 80°C, pois esta é a mais adequada. Mesmo trabalhando apenas com 4 cavidades, ultrapassava-se esse valor, não obstante, conseguiram-se obter peças com qualidade, agora com 8 cavidades a temperatura do molde ainda é maior. Isto acontece porque estão os dois canais quentes ligados à mesma temperatura, originando peças com má qualidade, isto é, deformadas. O molde não possui a refrigeração ideal devido aos aparelhos que não suportam uma temperatura regular, devido à temperatura que é atingida do molde.

Os aparelhos utilizados são iguais ao ilustrado na figura seguinte:

Comprova-se então que não se conseguiram produzir peças com 8 cavidades, e que por isso, se continuaram a executar com 4. Possivelmente isto não aconteceria se fossem utilizados aparelhos com capacidade para aguentarem a temperatura desejada.



Figura 28 - Aparelho de refrigeração

5.6 Instrução de trabalho

Este documento destina-se a descrever a forma correta de executar uma operação e/ou tarefa, de modo simples e direto.

As tabelas seguintes são fornecidas aos funcionários da empresa, e indicam como realizar todo o processo completo de produção dos copos (5735 e 573550) desde a formação da matéria-prima, até às principais variáveis do processo.

Pode-se constatar que o t_1 e o t_2 não têm um valor exato, mas que variam entre valores normalmente usados. Esses valores não são exatos porque dependem muito do lote do material e também da entrada do material misturado com o virgem e reciclado. Tendo sempre em conta que são necessários pequenos ajustes. Para elaborar esses ajustes, as tabelas 16 e 19 apresentam um resumo que explica todos os passos a executar. Isto para controlar melhor a qualidade da peça dentro desses tempos, ou seja, para originar um ligeiro empeno para dentro e não para o exterior (normal nas peças aprovadas pelo cliente).

Assim sendo, a empresa apresentava um método de como resolver/melhorar o seu processo de injeção mais problemático, em que bastava apenas seguir-se os passos anteriormente mencionados.

Tabela 14 – Instrução de trabalho do copo 573550


<p style="text-align: center;">PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA (COPO 573550)</p>	<p>1. Não colocar o tubo que faz a ligação do aspirador ao moinho.</p> <p>2. Colocar apenas na estufa material virgem.</p> <p>3. Após produção de alguns copos, o operador tem de colocar mistura de reciclado com virgem no bidão.</p> <p>4. Utiliza-se na mistura 10kg de material virgem com 1,8 kg de material reciclado.</p>
<p style="text-align: center;">PRODUÇÃO</p> <p style="text-align: center; color: red;">Utiliza-se em cada 10kg de material virgem, 1,8 kg material reciclado.</p>	<p>Na produção do Copo 573550, <u>não</u> se utiliza o aspirador a puxar material reciclado do moinho. Ou seja, neste momento é o <u>operador</u> que faz a mistura do material virgem com o material reciclado, uma vez que com uma mistura mais homogénea e controlada conseguimos evitar peças ratadas e/ou com rebarba.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Atenção: No início apenas se coloca material virgem na estufa. À medida que o processo avança, enche-se o bidão da matéria-prima com material virgem e reciclado já misturado.</p>
<p style="text-align: center;">CONTROLO DE TEMPERATURA DO PROCESSO</p>	<p>Utilizar preferencialmente os seguintes termorreguladores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lado fixo: 52114; 52115; 52117. - Lado móvel: 52118; 52119; 52114.

Tabela 15 – Medidas e parâmetros ideais para o copo 573550

CAV.	Largura (mm)
Valores extremos	31,75/31,86
Parâmetros Processo	
Tfixo (°C)	65 (A)
T real placa trás (°C)	
T real pl.frente (°C)	
Tmov(°C)	75(A)
T real (°C)	
T cil.(°C)	265/270
T CQ (°C)	265/265
P1 (bar)	175
t1 (seg)	0,60 / 0,77
v1 (mm/s)	125
P2 (bar)	70
t2 (seg)	0,85 / 1
v2 (mm/s)	50
t.arref. (s)	7
Pressão comutação	185
Ponto comutação	15
S (mm)	50 ; 60
N (rpm)	130 ; 90
P (bar)	16 ; 10

Tabela 16 – Controlo dos tempos de injeção 1 e 2

Com diferentes lotes de material, devem-se usar diferentes parâmetros, onde os valores de **t1** e **t2** **vão variar** entre os valores referidos na tabela.

t1 é essencialmente o tempo necessário para encher a peça e **t2** o tempo necessário para controlar o empeno da peça (quanto menor o valor de t2, maior será o empeno para o interior da peça).

No início do processo ter-se-á os parâmetros da tabela, e **passadas aproximadamente 4h**, com a entrada da mistura virgem + reciclado, os parâmetros terão de ser novamente ajustados, **baixando ligeiramente o valor de t1** e, **se necessário, aumentar t2**.

Tabela 17 - Instrução de trabalho do copo 5735


<p style="text-align: center;">PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA (COPO 5735)</p>	<p>1. Não colocar o tubo que faz a ligação do aspirador ao moinho.</p> <p>2. Colocar apenas na estufa material virgem.</p> <p>3. Após produção de alguns copos, o operador tem de colocar mistura de reciclado com virgem no bidão.</p> <p>4. Utiliza-se na mistura 10kg de material virgem com 1,8 kg de material reciclado.</p>
<p style="text-align: center;">PRODUÇÃO</p> <p style="text-align: center; color: red;">Utiliza-se em cada 10kg de material virgem, 1,8 kg material reciclado.</p>	<p>Na produção do Copo 5735, <u>não</u> se utiliza o aspirador a puxar material reciclado do moinho. Ou seja, neste momento é o <u>operador</u> que faz a mistura do material virgem com o material reciclado, uma vez que com uma mistura mais homogénea e controlada conseguimos evitar peças ratadas e/ou com rebarba.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Atenção: No início apenas se coloca material virgem na estufa. À medida que o processo avança, enche-se o bidão da matéria-prima com material virgem e reciclado já misturado.</p>
<p style="text-align: center;">CONTROLO DE TEMPERATURA DO PROCESSO</p>	<p>Utilizar <u>preferencialmente</u> os seguintes <u>termorreguladores</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lado fixo: 52114; 52115; 52117. - Lado móvel: 52118; 52119; 52114.

Tabela 18 - Medidas e parâmetros ideais para o copo 5735

CAV.	Largura (mm)
Valores extremos	32,30/32,45
Parâmetros Processo	
Tfixo (°C)	55 (A)
T real placa trás (°C)	
T real pl.frente (°C)	
Tmov(°C)	80(A)
T real (°C)	
T cil.(°C)	270/275
T CQ (°C)	250/255
P1 (bar)	160
t1 (seg)	0,68 / 0,78
v1 (mm/s)	127
P2 (bar)	60
t2 (seg)	0,50 / 0,75
v2 (mm/s)	50
t.arref. (s)	7
Pressão comutação	185
Ponto comutação	11
S (mm)	70 ; 60
N (rpm)	150 ; 90
P (bar)	8 ; 5

Tabela 19 - Controlo dos tempos de injeção 1 e 2

Com diferentes lotes de material, devem-se usar diferentes parâmetros, onde os valores de **t1** e **t2** **vão variar** entre os valores referidos na tabela.

t1 é essencialmente o tempo necessário para encher a peça e **t2** o tempo necessário para controlar o empeno da peça (quanto menor o valor de t2, maior será o empeno para o interior da peça).

No início do processo ter-se-á os parâmetros da tabela, e **passadas aproximadamente 4h**, com a entrada da mistura virgem + reciclado, os parâmetros terão de ser novamente ajustados, **baixando ligeiramente o valor de t1 e, se necessário, aumentar t2**.

6. CONCLUSÃO

Em suma, sabendo que o molde que foi utilizado possuía oito cavidades, mas que, no entanto, se manifestava impróprio, foram assim usadas apenas quatro cavidades para tentar não obter peças deformadas no final do processo aqui estudado. Pode-se então concluir que os melhores parâmetros a adotar para os copos (5735 PBT 30% GF CZ e 573550 PBT 15% GF) são os que se encontram fornecidos na instrução de trabalho.

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação, analisando as experiências/ensaios, foi-se verificando quais as variáveis que continham influência na peça em questão, e, após uma análise fundamentada, concluiu-se que se obtiveram resultados com sucesso, na medida em que se tornou o processo em causa estável e ainda se retirou do mesmo peças muito boas. Porém, não se conseguiu solucionar o problema para o copo 5735, pois este apresentava sempre contaminação ao longo do processo (copo 573550, esse problema não era visível), e também não foi possível injetar os copos utilizando as 8 cavidades.

Sendo assim, pode-se detetar os problemas em questão e resolver questões essenciais para a entrega dos copos em bom estado e qualidade ao cliente. Poder-se-ia melhorar ainda mais o processo, mas para tal ter-se-ia de mudar o tipo de molde, como se sugere no capítulo seguinte acerca de trabalhos futuros.

Durante o ano letivo, estagiei e elaborei uma investigação com tema em questão na empresa CCL, com todo o agrado, onde me foi prestado o completo apoio e disponibilidade para trabalhar, ajudar e aprender. Paralelamente, foi-me fornecida a possibilidade da realização da dissertação de Mestrado e da colaboração, ainda mais presente, com a empresa para o que foi necessário.

7. SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido permitiu determinar quais eram os defeitos/problemas dos copos no molde em questão. Assim foi possível partir-se para as ações corretivas, produzindo-se copos sem defeitos.

Por conseguinte, sugerem-se as seguintes medidas que podem ser adotadas futuramente:

- Construção de um novo molde de 4 ou 8 cavidades (preferencialmente de 4 cavidades, reduzindo o tamanho do sistema de alimentação e poupando o desperdício do material) e ainda otimizar as saídas de gases.

- O molde a desenvolver deverá ser de injeção direta, eliminando assim os canais quentes, como foi feito em outros moldes com copos de dimensões mais pequenas, mas com o mesmo material.

- A empresa deve dispor de aparelhos de refrigeração do molde que suportem temperaturas mais baixas do que 55°C, já que poderá ser importante para o molde a desenvolver.

- Empregar mangueiras de uso específico para aparelhos de refrigeração a água e outras apenas e só para aparelhos de refrigeração de óleo, a fim de evitar a avaria de equipamentos a longo prazo.

8. BIBLIOGRAFIA

[1]. Empresa Celoplás. Consultado em Janeiro de 2014. Disponível em: <http://celoplas.pt/>

[2]. Empresa CCL. Consultado em Janeiro de 2014. Disponível em: <http://www.ccl-plasticos.pt/qualidade.html>

[3]. Apontamentos da unidade curricular de ciência de polímeros 1 (Introdução aos polímeros) – Professora Ana Vera Machado Nóbrega. Consultado em Fevereiro de 2014.

[4] Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Consultado em Março de 2014. Disponível em: http://run.unl.pt/bitstream/10362/1398/1/Letras_2008.pdf

[5]. Apontamentos da unidade curricular de processamento de polímeros 2 (O processo e o respetivo ciclo de moldação) – Professora Carla Martins e Professor Júlio Viana. Consultado em Março de 2014.

[6]. Apontamentos da unidade curricular de processamento de polímeros 2 (Introdução) – Professora Carla Martins e Professor Júlio Viana. Consultado em Abril de 2014.

[7]. Apontamentos da unidade curricular de processamento de polímeros 2 (MIP_Unidade de comando) – Professora Carla Martins e Professor Júlio Viana. Consultado em Abril de 2014.

[8]. Apontamentos de moldação por injeção de termoplásticos (formação profissional de materiais polimericos, promovida pela fabrica reguladora) - Coordenador do curso António Cunha. Consultado em Janeiro de 2014.

[9]. Informações sobre o PBT. Consultado em Fevereiro de 2014. Disponível em: <http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/pbt.html>

[10]. Dissertação de candidatura ao grau de Mestre em Engenharia Química apresentada à Escola Superior de Tecnologia e de Gestão do Instituto Politécnico de Bragança. Consultado em Setembro de 2014. Disponível em: https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/1680/1/H%C3%A9lderOliveira_MEQ_2008.pdf

[11]. Informações sobre polímeros com fibra de vidro. Consultado em Fevereiro de 2014. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA5XMAA/processamento-polimeros-reforçados-por-fibra-devidro>

[12]. Defeitos de moldagem, publicado por Willians Silva. Consultado em Maio de 2014. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/77754695/1/VARIAVEIS-QUE-INFLUENCIAM-O-PROCESSO-DE-INJECAO>

[13]. “Problemas de Injeção, Os 10 mais”, Por R.Wilkinson, E.A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer - Consultores Técnicos da DuPont de Nemours International (Europa). Consultado em Maio de 2014.

[14]. Imagem da máquina Ferromatik. Consultado em Junho de 2014. Disponível em: http://plasticker.de/equipment/suchres_en.php?suchres.php?befehl=&aog=&kat=&art=&baujahr=&kw_minmax=&leistung=&text=FERROMATIK&preis=&vorschau=ein&sort=baujahr%20DESC

[15]. Fórmula química do PBT. Consultado em Fevereiro de 2014. Disponível em: <http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/pbt.html>

[16] Informação sobre o MFI. Consultado em Julho de 2014. Disponível em: http://www.dep.uminho.pt/mcpaiva/pdfs/IP_UCI_I/0607F02.pdf

[17] Ilustração do ensaio de MFI. Consultado em Julho de 2014. Disponível em: http://chasqueweb.ufrgs.br/~ruth.santana/analise_instrumental/aula4g.html

[18] Explicação do DSC. Consultado em Setembro de 2014. Disponível em: <http://pslc.ws/macrog/dsc.htm&prev=/search%3Fq%3Ddifferential%2Bscanning%2Bcalorimetry%26biw%3D1366%26bih%3D643>

[19] Causa do Empeno. Consultado em Setembro de 2014. Disponível em: <http://revistapolimeros.org.br/files/v4n1/v4n1a05.pdf>

[20] Explicação de tempo de 2ª pressão. Consultado em Setembro de 2014. Disponível em: <http://alvarestech.com/temp/cobef2011/grima.ufsc.br/cobef2011/media/trabalhos/COF11-0305.pdf>

9. ANEXOS

Tabela 20 - Medidas e parâmetros do copo 573550

	ENSAIO 1												
CAV.	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	#8a)	# 9	# 10	# 11	# 12
1	30,45	30,16	30,06	31,57		31,58		31,73					31,51
2	30,54	30,18	30,48	31,63				31,86					31,55
3	30,59	30,43	30,56	31,20				31,48		31,45	31,72	31,44	31,48
4	30,61	30,19	29,87	31,19				31,44	31,95	31,49	31,53	31,19	31,30
5		30,16			31,39	31,29							
6		30,25			31,63	30,70							
7		30,52			31,30								
8		30,40			31,49								
Média	30,55	30,29	30,24	31,40	31,45			31,63					31,46
Parâmetros Processo													
Tfixo (°C)	60 (A)	60 (A)	60 (A)	60 (O)	60 (O)	65/75 (A)	80 (A)	70 (A)	70 (O)	75 (A)	80 (A)	80 (A)	70 (A)
T real placa trás (°C)						73-76	85-87	77-79	85-90	82-83	85-86	85-87	78
T real pl.frente (°C)						78-81	80-84	73-76		77-79	80-83		71-75
Tmov(°C)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	70 (A)	75 (A)	75 (A)	70 (A)	70 (A)	70 (A)	70 (A)	70 (A)	75 (A)	75 (A)
T real (°C)						102-112	101-108	99-109		101-107	101-108	103-111	102-110
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	275/280	275/280	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	275/275	275/275	275/275	265/270	265/270	280/285	275/290	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270
P1 (bar)	165	165	165	165	165	175	175	170	170	175	175	175	175
t1 (seg)	0,55	1,10	0,55	0,65	0,65	1,20	1,20	0,70	0,70	0,70	0,70	0,75	0,75
v1 (mm/s)	100	100	100	100	100	130	130	100	100	100	100	100	100
P2 (bar)	40	40	40	40	40	40	35	45	45	45	45	45	45
t2 (seg)	2,00	2,00	2,00	0,70	0,70	0,70	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
v2 (mm/s)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Tabela 21 - Medidas e parâmetros do copo 573550







	ENSAIO 1										
CAV.	# 13	# 14	# 15	# 16	# 17	# 18	# 19	# 20	# 21	# 22	# 23
1											
2											
3	31,78	31,81	31,43								
4	31,70	31,79	31,39								
5				31,37	31,20	31,72	31,71	31,74	31,83	31,34	31,24
6				31,66	31,60	31,98	31,81	31,86	31,89	31,40	31,31
7				31,39	31,35	31,79	31,54	31,73	31,73	31,20	31,19
8				31,56	31,48	31,93	31,76	31,85	31,90	31,34	31,31
Média				31,50	31,41	31,86	31,71	31,80	31,84	31,32	31,26
Parâmetros Processo											
Tfixo (°C)	60 (O)	60/65 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	75 (A)	70/75 (A)
T real placa trás (°C)						77-79				80-84	76-79
T real pl.frente (°C)						80-87				77-82	
Tmov(°C)	75 (A)	75 (A)	80/75 (A)	80 (A)	80 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)
T real (°C)						106-110				104-110	
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	265/275	265/275	265/275	265/270	265/270	265/270	275/275	275/275	275/275	265/270	265/270
P1 (bar)	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
t1 (seg)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,70	0,70
v1 (mm/s)	120	120	120	110	110	125	125	125	125	110	110
P2 (bar)	40	40	40	40	40	40	40	50	54	40	40
t2 (seg)	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60	0,70	0,60	0,70	0,70	0,70	0,70
v2 (mm/s)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7

Tabela 22 - Medidas e parâmetros do copo 573550

	ENSAIO 2 - 26/08/2013					ENSAIO 3 - 23/09/2013					
CAV.	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
1											
2											
3											
4											
5	31,05	31,34	31,25	31,4	31,6	31,33	31,37	31,57	31,6	31,77	31,68
6	31,25	31,57	31,6	31,43	31,89	31,43	31,78	31,94	31,87	31,90	31,81
7	31	31,23	31,24	31,12	31,5	31,4	31,41	31,67	31,65	31,7	31,59
8	31,05	31,43	31,5	31,37	31,65	31,34	31,74	31,8	31,75	31,73	31,72
Média	31,09	31,39	31,40	31,33	31,66	31,38	31,58	31,75	31,72	31,78	31,70
Parâmetros Processo											
Tfixo (°C)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)
T real placa trás (°C)											
T real pl.frente (°C)											
Tmov(°C)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)
T real (°C)											
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270
P1 (bar)	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
t1 (seg)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,60	0,60	0,62	0,65	0,68
v1 (mm/s)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
P2 (bar)	40	50	40	50	60	55	50	60	55	60	40
t2 (seg)	0,70	0,70	0,80	0,80	0,90	0,80	0,80	0,90	0,80	0,90	0,80
v2 (mm/s)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Pressão comutação (bar)											
Ponto comutação (mm)											
Plasticização											
S (mm)											
N (rpm)											
P (bar)											

Tabela 23 - Medidas e parâmetros do copo 573550

	ENSAIO 4 - 16/10/2013					ENSAIO 5 - 16/10/2013				
CAV.	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
1										
2										
3										
4										
5	31,76	31,8	32,01	31,93	31,7	31,33	31,67	31,54	31,98	31,92
6	31,86	31,96	31,94	31,99	31,76	31,31	31,53	31,56	31,85	31,95
7	31,71	32	31,81	32,01	31,68	31,37	31,55	31,47	31,74	31,76
8	31,80	31,95	31,91	32,05	31,74	31,28	31,50	31,52	31,82	31,75
Média	31,78	31,93	31,92	32,00	31,72	31,32	31,56	31,52	31,85	31,85
Parâmetros Processo										
Tfixo (°C)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	60 (O)	65 (A)	65 (A)	65 (A)	65 (A)	65 (A)
T real placa trás (°C)										
T real pl.frente (°C)										
Tmov(°C)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)	75 (A)
T real (°C)										
T cil.(°C)	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270	265/270
T CQ (°C)	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265
P1 (bar)	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
t1 (seg)	0,62	0,59	0,59	0,59	0,59	0,57	0,57	0,57	0,57	0,64
v1 (mm/s)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
P2 (bar)	60	60	60	65	65	62	62	62	70	70
t2 (seg)	0,80	0,90	0,90	0,95	0,80	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00
v2 (mm/s)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Plasticização										
S (mm)	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60	50; 60
N (rpm)	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
P (bar)	35	35	35	35	35	10	10	10	15	16
	Material virgem					Puxa 45% de mat. reciclado + virgem				

Tabela 24 - Medidas e parâmetros do copo 573550

	ENSAIO 6 - 17/10/2013	
CAV.	# 1	# 2
1		
2		
3		
4		
5	31,87	31,82
6	31,9	31,78
7	31,83	31,81
8	31,75	31,76
Média	31,84	31,79
Parâmetros Processo		
Tfixo (°C)	65 (A)	65 (A)
T real placa trás (°C)		
T real pl.frente (°C)		
Tmov(°C)	75 (A)	75 (A)
T real (°C)		
T cil.(°C)	265/270	265/270
T CQ (°C)	265/265	265/265
P1 (bar)	175	175
t1 (seg)	0,63	0,57
v1 (mm/s)	125	125
P2 (bar)	70	70
t2 (seg)	1,00	1,00
v2 (mm/s)	50	50
t.arref. (s)	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185
Ponto comutação (mm)	15	15
Plasticização		
S (mm)	50; 60	50; 60
N (rpm)	130	130
P (bar)	16	16
	Puxa 20% de mat. reciclado + virgem/reciclado	

Tabela 25 - Medidas e parâmetros do copo 573550

	ENSAIO 7 - 20/11/2013		ENSAIO 8 - 21/11/2013
CAV.	# 1	# 2	# 1
1			
2			
3			
4			
5	31,88	31,93	31,93
6	31,84	31,9	31,93
7	31,8	31,82	31,82
8	31,81	31,69	31,71
Média	31,83	31,84	31,85
Parâmetros Processo			
Tfixo (°C)	65 (A)	65 (A)	65 (A)
T real placa trás (°C)			
T real pl.frente (°C)			
Tmov(°C)	75 (A)	75 (A)	75 (A)
T real (°C)			
T cil.(°C)	265/270	265/270	265/270
T CQ (°C)	265/265	265/265	265/265
P1 (bar)	175	175	175
t1 (seg)	0,77	0,64	0,64
v1 (mm/s)	125	125	125
P2 (bar)	70	70	70
t2 (seg)	1,00	1,00	1,00
v2 (mm/s)	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185	185
Ponto comutação (mm)	15	15	15
Plasticização			
S (mm)	50; 60	50; 60	50; 60
N (rpm)	130	130	130
P (bar)	16	16	16
Puxa 25/30 % de mat. reciclado + virgem			

Tabela 26 - Medidas e parâmetros do copo 5735

ENSAIO 1 - 22/08/2013					
CAV.	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
1	31,69	32,25	32,45	30,92	31,07
2	31,71	32,28	32,39	30,83	31,25
3	31,67	32,15	32,32	30,90	31,30
4	31,95	32,31	32,35	30,86	31,09
5					
6					
7					
8					
Média	31,76	32,25	32,38	30,88	31,18
Parâmetros Processo					
Tfixo (°C)	70 (A)	70 (A)	70 (A)	70 (A)	70 (A)
T real placa trás (°C)					
T real pl.frente (°C)					
Tmov(°C)	80 (0)	80 (0)	80 (0)	80 (0)	80 (0)
T real (°C)					
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	265/265	265/265	265/265	265/265	265/265
P1 (bar)	150	150	150	150	150
t1 (seg)	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
v1 (mm/s)	130	130	130	130	130
P2 (bar)	60	60	60	25	25
t2 (seg)	0,77	0,85	0,90	1,00	1,00
v2 (mm/s)	67	67	67	67	67
t.arref. (s)	6	6	6	6	6
Pressão comutação (bar)					
Ponto comutação (mm)					
Plasticização					
S (mm)					
N (rpm)					
P (bar)					

Tabela 27 - Medidas e parâmetros do copo 5735

	ENSAIO 2 - 23/10/2013	
CAV.	# 1	# 2
1	31,97	32,08
2	32,26	32,17
3	31,96	32,00
4	32,01	32,02
5		
6		
7		
8		
Média	32,05	32,07
Parâmetros Processo		
Tfixo (°C)	60 (A)	55 (A)
T real placa trás (°C)		
T real pl.frente (°C)		
Tmov(°C)	80(A)	80(A)
T real (°C)		
T cil.(°C)	270/275	270/275
T CQ (°C)	265/265	265/265
P1 (bar)	160	160
t1 (seg)	0,74	0,74
v1 (mm/s)	127	127
P2 (bar)	60	60
t2 (seg)	0,40	0,40
v2 (mm/s)	50	50
t.arref. (s)	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11
Plasticização		
S (mm)	50; 80	50; 80
N (rpm)	120	120
P (bar)	5	5
	Puxa 20% de mat. Reciclado + virgem/reciclado	

Tabela 28 - Medidas e parâmetros do copo 5735

	ENSAIO 3- 04/02/2014	
CAV.	# 1	# 2
1	31,82	31,31
2	31,85	31,34
3	31,81	31,33
4	31,79	31,43
5		
6		
7		
8		
Média	31,82	31,35
Parâmetros Processo		
Tfixo (°C)	55 (A)	55 (A)
T real placa trás (°C)		
T real pl.frente (°C)		
Tmov(°C)	80(A)	80(A)
T real (°C)		
T cil.(°C)	270/275	270/275
T CQ (°C)	265/265	265/265
P1 (bar)	160	160
t1 (seg)	0,74	0,60
v1 (mm/s)	127	127
P2 (bar)	60	60
t2 (seg)	0,40	0,40
v2 (mm/s)	50	50
t.arref. (s)	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11
Plasticização		
S (mm)	50; 80	50; 80
N (rpm)	120	120
P (bar)	5	5
	Avaria dos aparelhos	

Tabela 29 - Medidas e parâmetros do copo 5735

	ENSAIO 3- 04/02/2014	
CAV.	# 3	# 4
1	31,58	31,58
2	31,52	31,69
3	31,5	31,64
4	31,7	31,67
5		
6		
7		
8		
Média	31,58	31,65
Parâmetros Processo		
Tfixo (°C)	55 (A)	55 (A)
T real placa trás (°C)		
T real pl.frente (°C)		
Tmov(°C)	80(A)	80(A)
T real (°C)		
T cil.(°C)	270/275	270/275
T CQ (°C)	250/255	250/255
P1 (bar)	160	160
t1 (seg)	0,61	0,61
v1 (mm/s)	127	127
P2 (bar)	60	60
t2 (seg)	0,40	0,40
v2 (mm/s)	50	50
t.arref. (s)	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11
Plasticização		
S (mm)	50; 80	50; 80
N (rpm)	120	120
P (bar)	5	5
	Puxa 25% de mat. Reciclado + virgem	

Tabela 30 - Medidas e parâmetros do copo 5735

	ENSAIO 4- 05/02/2014				
CAV.	# 1	# 2	# 3	# 5	# 5
1	31,69	31,70	31,70	32,19	32,00
2	31,79	31,65	31,72	32,37	32,41
3	31,65	31,60	31,59	32,26	32,22
4	31,67	31,66	31,65	32,17	32,21
5					
6					
7					
8					
Média	31,70	31,65	31,67	32,25	32,21
Parâmetros Processo					
Tfixo (°C)	55 (A)	55 (A)	55 (A)	55 (A)	55 (A)
T real placa trás (°C)					
T real pl.frente (°C)					
Tmov(°C)	80(A)	80(A)	80(A)	80(A)	80(A)
T real (°C)					
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	250/255	250/255	250/255	250/255	250/255
P1 (bar)	160	160	160	160	160
t1 (seg)	0,64	0,63	0,63	0,63	0,63
v1 (mm/s)	127	127	127	127	127
P2 (bar)	60	60	60	60	60
t2 (seg)	0,40	0,40	0,40	1,00	0,85
v2 (mm/s)	50	50	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185	185	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11	11	11	11
Plasticização					
S (mm)	50; 80	70; 80	70; 80	70; 80	70; 80
N (rpm)	120	150; 90	150; 90	150; 90	150; 90
P (bar)	5	8; 5	8; 5	8; 5	8; 5
Puxa 20% de mat. Reciclado + virgem					

Tabela 31 - Medidas e parâmetros do copo 5735

	ENSAIO 5 - 20/02/2014		
CAV.	# 1	# 2	# 3
1	32,43	32,34	32,32
2	32,44	32,34	32,29
3	32,41	32,40	32,41
4	32,41	32,37	32,38
5			
6			
7			
8			
Média	32,42	32,36	32,35
Parâmetros Processo			
Tfixo (°C)	55 (A)	55 (A)	55 (A)
T real placa trás (°C)			
T real pl.frente (°C)			
Tmov(°C)	80(A)	80(A)	80(A)
T real (°C)			
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	250/255	250/255	250/255
P1 (bar)	160	160	160
t1 (seg)	0,70	0,70	0,70
v1 (mm/s)	127	127	127
P2 (bar)	60	60	60
t2 (seg)	1,00	0,90	0,90
v2 (mm/s)	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11	11
Plasticização			
S (mm)	70; 80	70; 80	70; 80
N (rpm)	150; 90	150; 90	150; 90
P (bar)	8; 5	8; 5	8; 5
	Material virgem		

Tabela 32 - Medidas e parâmetros do copo 5735

	ENSAIO 6 - 21/02/2014					
CAV.	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
1	32,39	32,40	32,39	32,40	32,23	32,32
2	32,46	32,45	32,45	32,42	32,26	32,4
3	32,43	32,44	32,40	32,42	32,25	32,44
4	32,39	32,43	32,46	32,4	32,19	32,43
5						
6						
7						
8						
Média	32,42	32,43	32,43	32,41	32,23	32,40
Parâmetros Processo						
Tfixo (°C)	55 (A)	55 (A)	55 (A)	55 (A)	55 (A)	55 (A)
T real placa trás (°C)						
T real pl.frente (°C)						
Tmov(°C)	80(A)	80(A)	80(A)	80(A)	80(A)	80(A)
T real (°C)						
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	250/255	250/255	250/255	250/255	250/255	250/255
P1 (bar)	160	160	160	160	160	160
t1 (seg)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
v1 (mm/s)	127	127	127	127	127	127
P2 (bar)	60	60	60	60	60	60
t2 (seg)	0,90	0,85	0,83	0,82	0,50	0,70
v2 (mm/s)	50	50	50	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	7	7	7	7
Pressão comutação (bar)	185	185	185	185	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11	11	11	11	11
Plasticização						
S (mm)	70; 80	70; 80	70; 80	70; 80	70; 80	70; 80
N (rpm)	150; 90	150; 90	150; 90	150; 90	150; 90	150; 90
P (bar)	8; 5	8; 5	8; 5	8; 5	8; 5	8; 5
	10 Kg de material virgem + 1,300 Kg de material reciclado					

Tabela 33 - Medidas e parâmetros do copo 5735

CAV.	ENSAIO 7 - 14/04/2014		ENSAIO 8 - 23/05/2014	
	# 1	# 2	# 1	# 2
1	32,42	32,33		32,31
2	32,48	32,37		32,33
3	32,43	32,12		32,29
4	32,46	32,41		32,32
5				
6				
7				
8				
Média	32,45	32,31	Erro!	32,31
Parâmetros Processo				
Tfixo (°C)	55 (A)	55 (A)	55 (A)	55 (A)
T real placa trás (°C)				
T real pl.frente (°C)				
Tmov(°C)	80(A)	80(A)	80(A)	80(A)
T real (°C)				
T cil.(°C)	270/275	270/275	270/275	270/275
T CQ (°C)	250/255	250/255	250/255	250/255
P1 (bar)	160	160	160	160
t1 (seg)	0,76	0,74	0,76	0,71
v1 (mm/s)	127	127	127	127
P2 (bar)	60	60	60	60
t2 (seg)	0,55	0,50	0,40	0,50
v2 (mm/s)	50	50	50	50
t.arref. (s)	7	7	8	7
Pressão comutação (bar)	185	185	185	185
Ponto comutação (mm)	11	11	11	11
Plasticização				
S (mm)	70; 80	70; 80	70; 80	70; 80
N (rpm)	150; 90	150; 90	150; 90	150; 90
P (bar)	8; 5	8; 5	8; 5	9; 10
10 Kg de material virgem + 1,300 Kg de material reciclado				

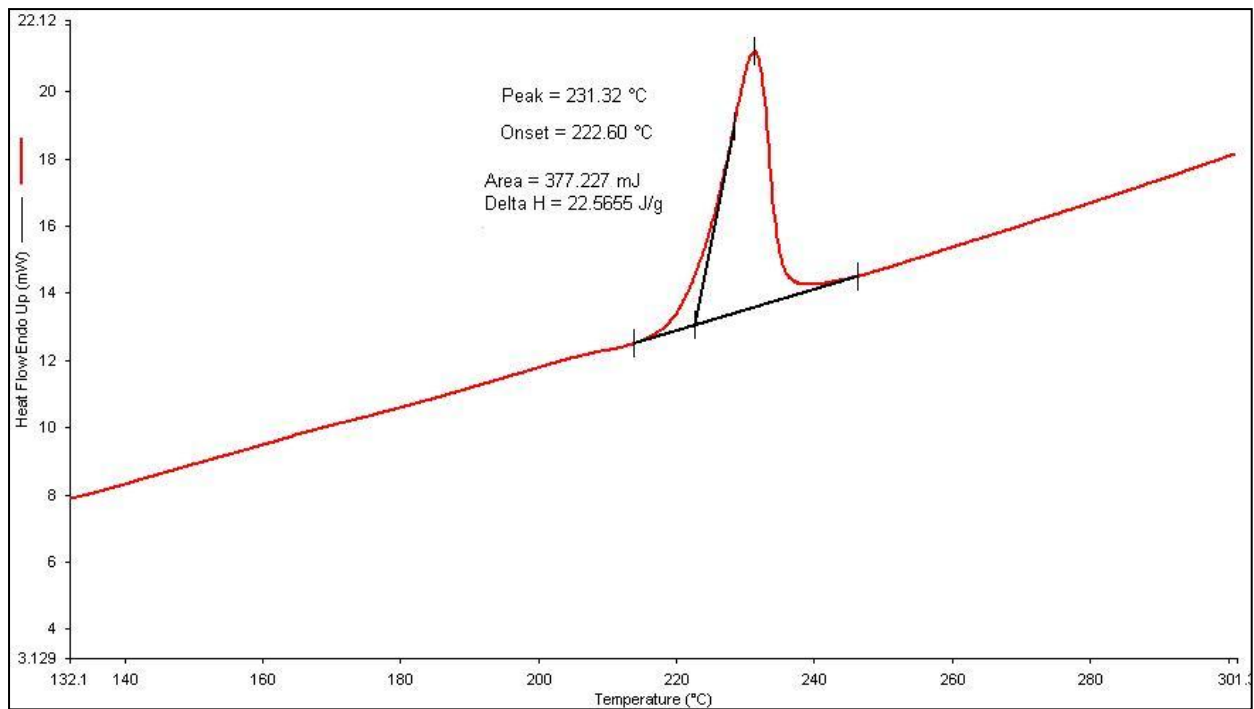


Figura 29 - Ensaio 1 de DSC em material virgem

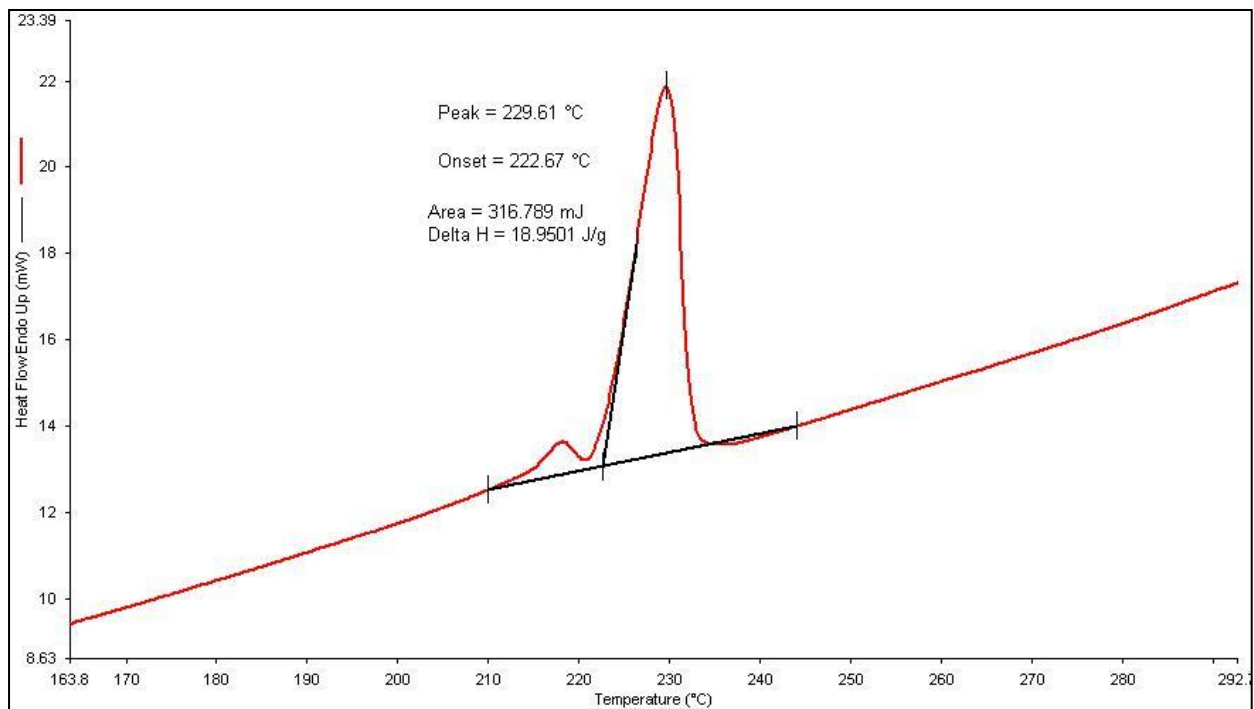


Figura 30 - Ensaio 1 de DSC em material virgem (2º aquecimento)

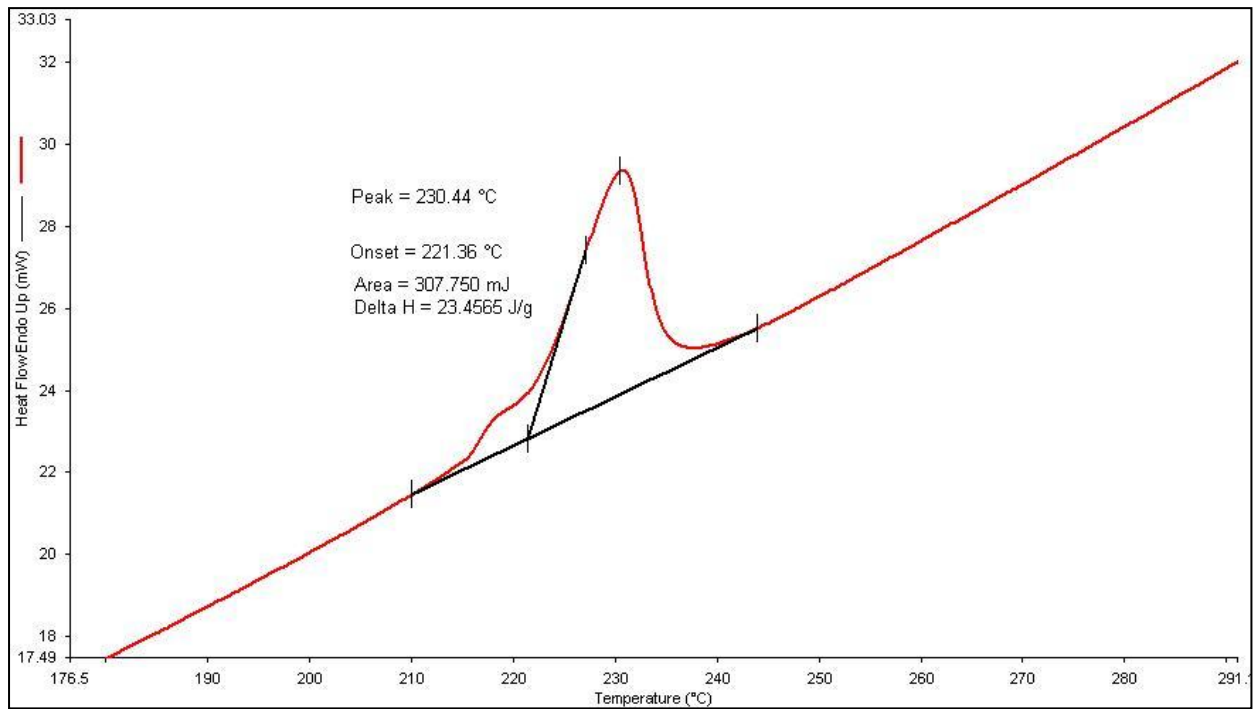


Figura 31 - Ensaio 2 de DSC em material virgem

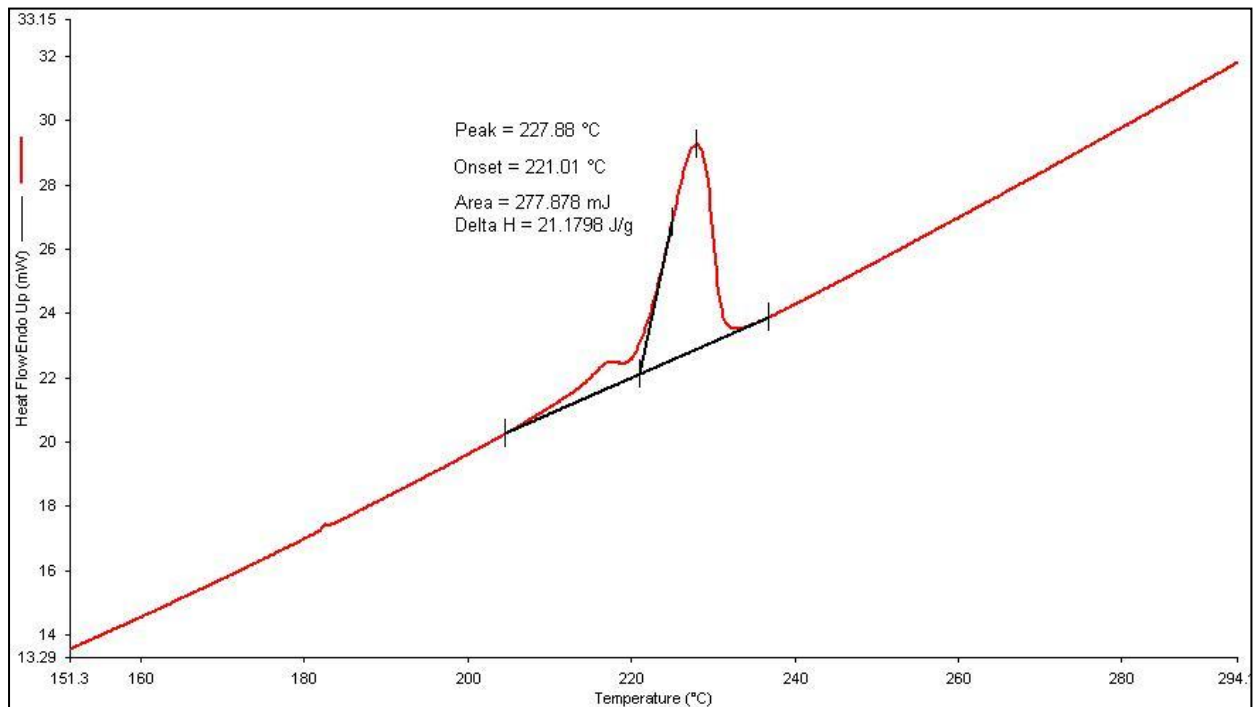


Figura 32 - Ensaio 2 de DSC em material virgem (2º aquecimento)

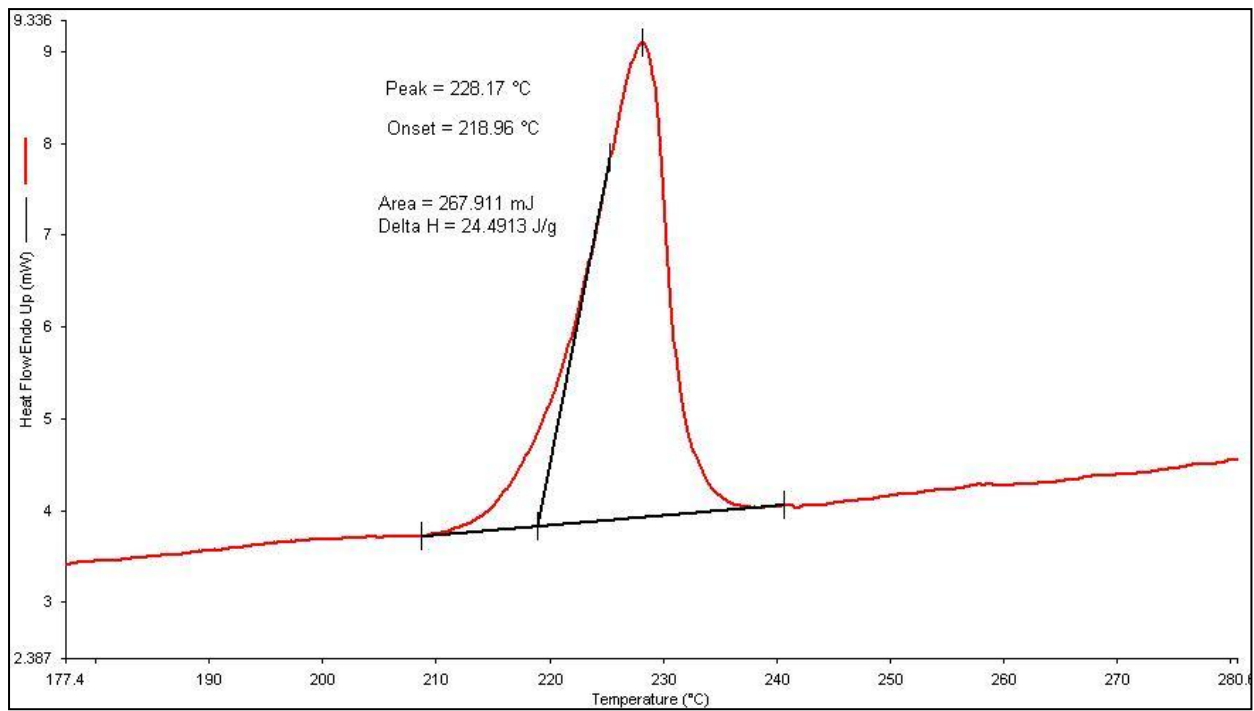


Figura 33 - Ensaio 1 de DSC em material reciclado

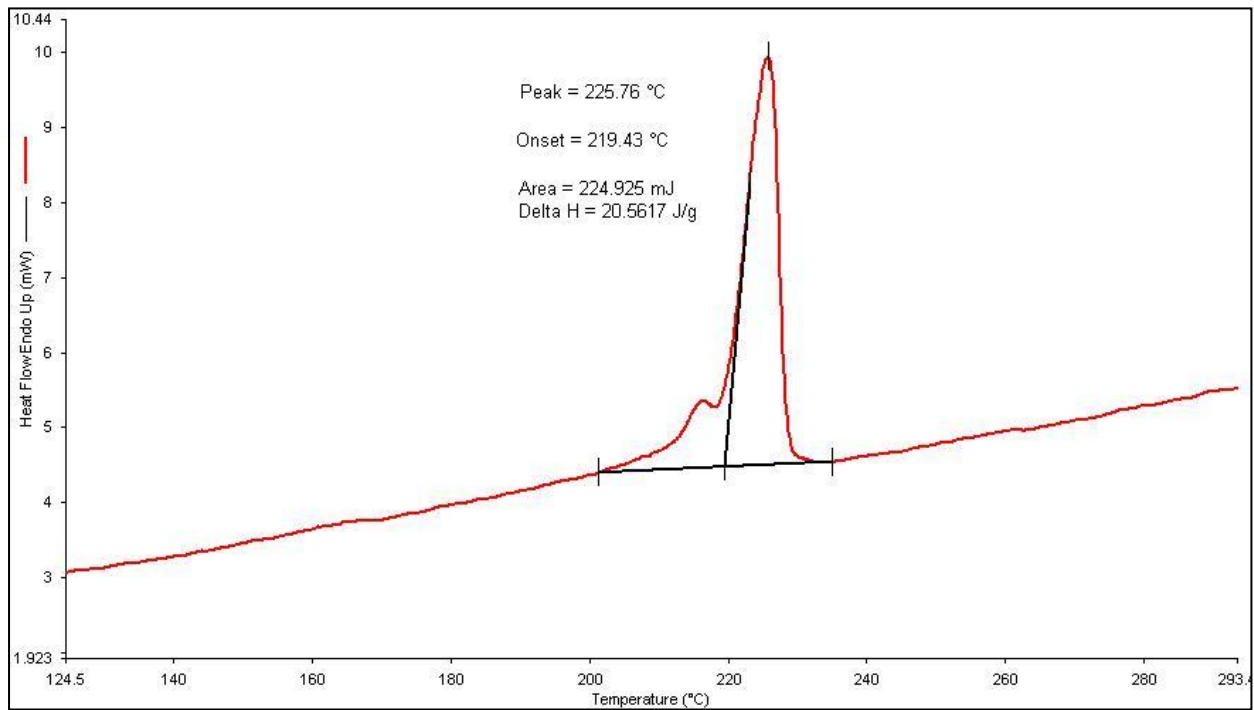


Figura 34 - Ensaio 1 de DSC em material reciclado (2º aquecimento)

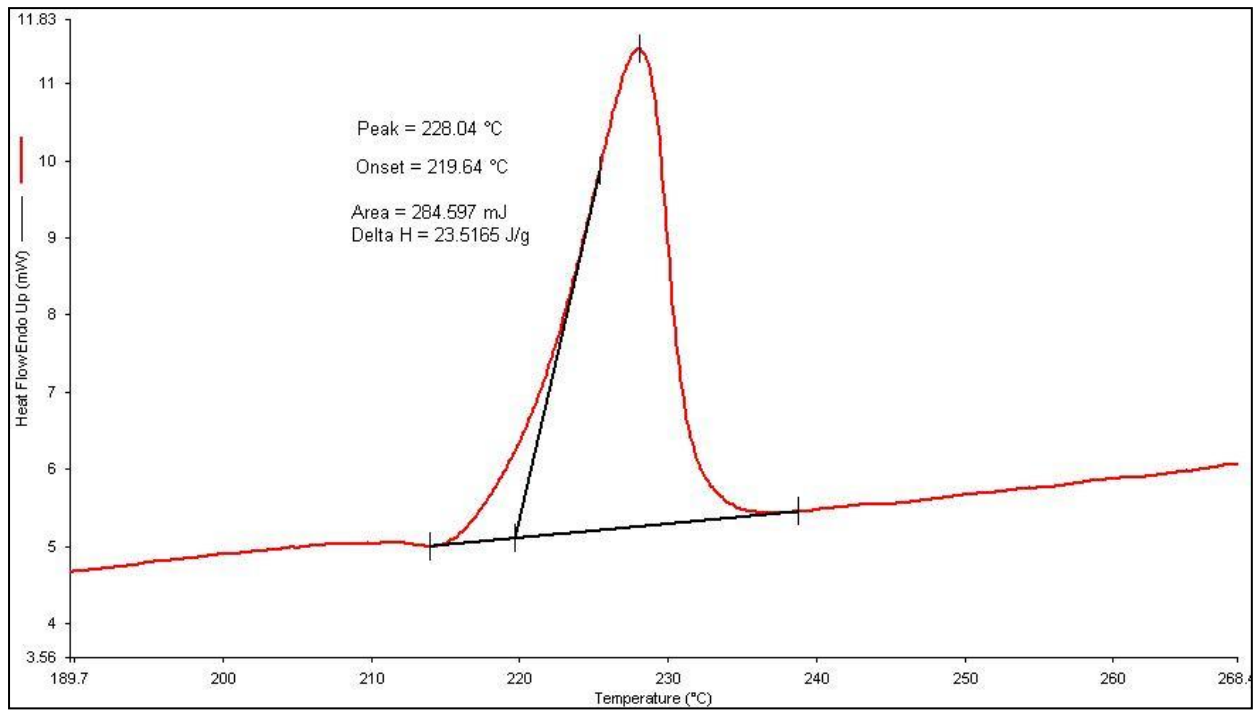


Figura 35 - Ensaio 2 de DSC em material reciclado

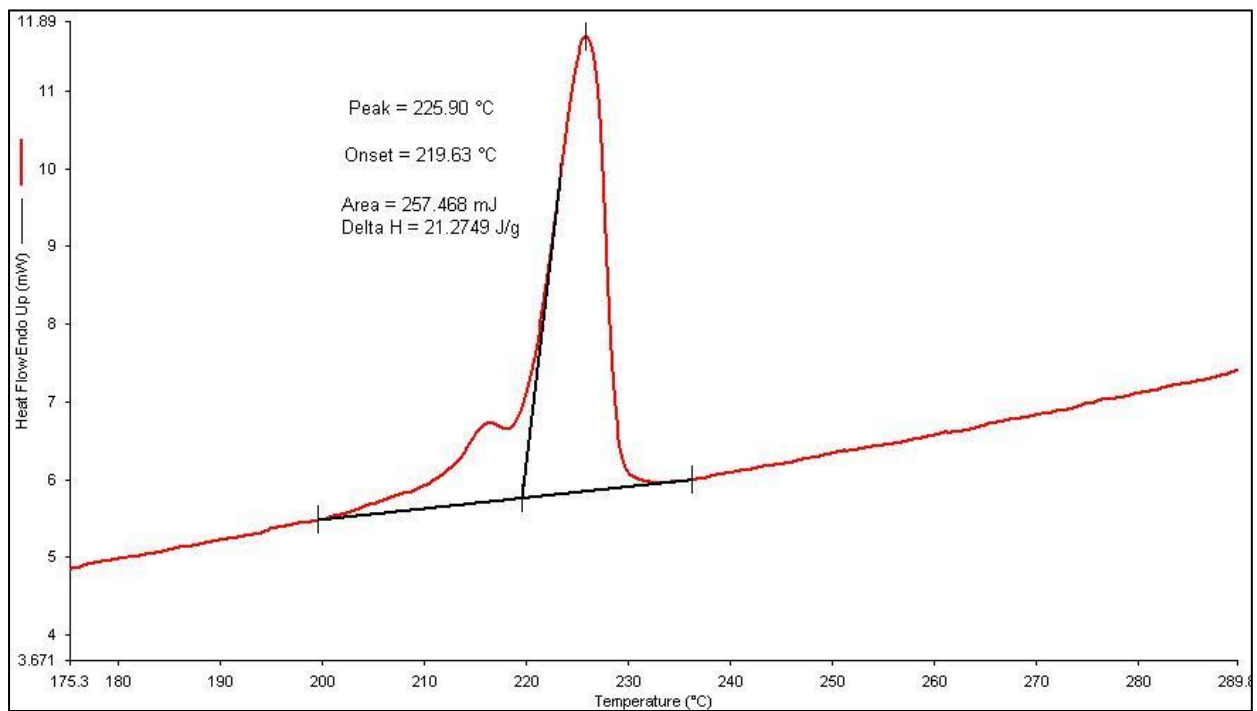


Figura 36 - Ensaio 2 de DSC em material reciclado (2º aquecimento)