

INFLUÊNCIA DA “VELOCIDADE DE INJEÇÃO” E “TEMPO DE RECALQUE” NAS CARACTERÍSTICAS DE PEÇAS INJETADAS EM POLIPROPILENO

Anderson de C. Fernandes, anderson_caf@hotmai.com¹

Alexandre M. Ferreira, alexandre.mcferrera@gmail.com¹

Rafael Junkes, rafa_junkes@hotmail.com¹

Écio Molinari, molinari@sociesc.org.br;

Janaina L. Leite, janaina.leite@sociesc.org.br¹

Sueli F. Beckert, sueli@sociesc.org.br¹

¹SOCIEDADE EDUCACIONAL DE SANTE CATARINA (SOCIESC), Rua Albano Schmidt, 3333
Joinville – Santa Catarina - SC 89.206-001.

Resumo: *Durante o processo de moldagem por injeção de materiais poliméricos, os parâmetros envolvidos possuem grande influência nas características microestruturais e propriedades mecânicas do produto final, resultando em peças com diferentes aspectos visuais e estruturais. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da velocidade de injeção e tempo de recalque sobre a variação do peso e dimensões da peça injetada. Foi injetado polipropileno utilizando-se diferentes velocidades de injeção, 38 e 76 cm³/s e tempos de recalque, 3,0 e 6,0 segundos. Análise estatística utilizando o procedimento DOE (Design of Experiments) foi realizada, com o intuito de verificar a influência dos parâmetros de injeção, sendo o tempo de recalque o parâmetro que apresentou maior significância frente aos dados estatísticos, influenciando desta forma, no peso e no dimensional da peça injetada.*

Palavras-chave: *Processo de injeção, Tempo de recalque, Velocidade de injeção.*

1. INTRODUÇÃO

O processo de injeção é um dos principais processos de transformação de polímeros devido a sua grande versatilidade e aplicabilidade, sendo o mais comum dos processos empregados na fabricação de termoplásticos, exigindo uma boa exatidão dimensional e grande volume de peças injetadas, o qual a quantidade das peças injetadas depende das características do material, do design do molde e das condições de processo. (D'Ávila 1997; Tino 2005; Chen et al., 2009).

Segundo referências sobre a definição geral sobre o processo de injeção, Harada (1991) e Gondak et. al. (2006) apontam que o processo de moldagem por injeção consiste em fundir o polímero por meio de aquecimento e cisalhamento (plastificação), transportar o polímero fundido para a cavidade do molde (preenchimento), resfriá-lo e ejetar o produto do molde.

No processo de moldagem por injeção de plásticos alguns parâmetros de injeção precisam ser levados em consideração, pois afetam diretamente a qualidade da peça injetada, sendo algum destes: pressão de injeção, pressão e tempo de recalque, velocidade de injeção e temperatura do molde. De acordo com citações feitas por Chen et al. (2009), muitos estudos encontraram que os parâmetros de moldagem por injeção tem um efeito crucial na qualidade das peças injetadas.

O parâmetro velocidade de injeção é a velocidade com que a massa polimérica é enviada para dentro do molde durante a fase de preenchimento do mesmo, sendo amplamente dependente do tipo de alimentação e distribuição das cavidades projetadas. A variação deste parâmetro tem efeito sobre a pressão necessária para preencher o molde, sendo que para velocidades de injeção muita alta, ocorrem também taxas de cisalhamento muito alta, necessitando assim, de altas pressões de injeção para preencher o molde, e para velocidades de injeção baixa, a taxa de cisalhamento é baixa, onde a temperatura do fundido vai diminuindo devido a troca de calor mais rápida por condução, necessitando de altas pressões de injeção. Um preenchimento rápido unido a uma temperatura adequada assegura uma contração uniforme do produto (Manrich,2005; Harada, 1994).

Após a etapa de injeção de material na cavidade e subsequente pressurização, ocorre a fase chamada de “ recalque”, onde o polímero é compactado para dentro da cavidade da peça para compensar a contração do material durante a solidificação, evitando o chamado “rechupe” das peças (Manrich, 2005). Resumidamente recalque é a injeção de mais

material nas cavidades, a uma pressão controlada, geralmente constante (Nishimoto, 2001), sendo a escolha do tempo e da pressão de recalque primordial na obtenção de peças de boa qualidade (Murakami e Bom, 2008).

Dentro deste contexto, este trabalho tem por objetivo estudar a influência dos parâmetros de tempo de recalque e velocidade de injeção no polímero polipropileno (PP), através de análise estatística utilizando o procedimento DOE (Design of Experiments), tendo como variáveis de saída o peso e a dimensão das peças injetadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O polímero utilizado neste trabalho foi o polipropileno (PP) homopolímero H604 fornecido pela Braskem, cujas propriedades estão listadas na Tab. (1). A máquina-injetora utilizada foi da marca Sandretto Metalmeccânica, modelo Micro 65, 650/247.

Tabela 1. Propriedades do polipropileno (PP) homopolímero H604.

Propriedades	Método ASTM	Valores
Índice de fluidez - 230°C, 2,16Kg (g/10min)	D1238-L	1,5
Densidade a 23°C (g/cm ³)	D 792A	0,905
Módulo flexão (GPa)	D 790	1,67
Resistência a tração no escoamento (MPa)	D 638	36
Alongamento no escoamento (%)	D638	12
Resistência ao impacto Izod a 23°C (J/m)	D 256A	51
Temperatura de amolecimento Vicat -1kg (°C)	D 1525	149

Fonte: Braskem.

A geometria do molde utilizada para a injeção das peças a serem avaliadas é apresentada na Fig. (1). Este modelo foi desenvolvido pelo projeto Promolde¹ do IST (Instituto Superior Tupy- SOCIESC), por ser uma peça que possui características funcionais e uma geometria complexa, tendo a possibilidade de verificar suas variações dimensionais e de peso.

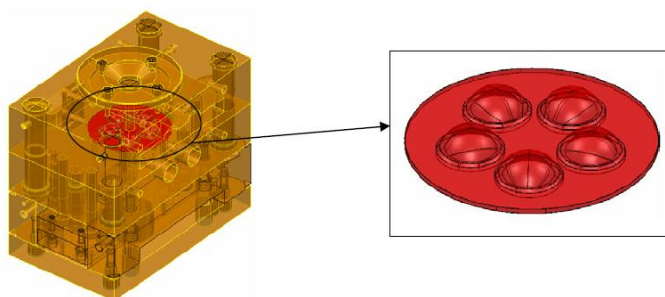


Figura 1. Molde utilizado no processo de injeção das peças a serem avaliadas.

Fonte: Bittencourt, 2006.

2.1 Processo de Injeção

As peças de polipropileno foram injetadas no laboratório de injeção de plásticos do IST – SOCIESC. Foram avaliados diferentes tempos de recalque e velocidades de injeção, mantendo-se constante os outros parâmetros de injeção, conforme é apresentado na Tab. (2).

¹ GRUPO PROMOLDE (2009). Programa para o desenvolvimento da cadeia de manufatura de produtos que utilizam moldes e matrizes. SOCIESC, Joinville,SC. Grupo certificado pelo CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Tabela 2. Parâmetros de injeção usados na injeção do Polipropileno.

Parâmetros	Valores	
Velocidade de injeção (cm ³ /s)	38	76
Tempo de recalque (s)	3	6
Temperatura do molde (°C)	28° a 34°	28° a 34°
Pressão de injeção (bar)	770	
Pressão de recalque (bar)	250	
Temperatura das zonas de aquecimento (°C)	Z1=210; Z2= 220; Z3=230; BICO= 230	

2.2 Análise Estatística

Para avaliar os efeitos decorrentes dos parâmetros de injeção, foi realizado um planejamento fatorial completo na configuração 2³, no qual foram considerados os seguintes parâmetros de injeção: tempo de recalque e velocidade de injeção. Adicionalmente, com a finalidade de verificar o impacto das condições ambientais sobre o experimento, as injeções das peças foram realizadas em dois dias distintos com intervalos de uma semana, sendo que para cada dia foram realizadas duas replicações, com cinco peças injetadas por ciclo. Após cada replicação, a máquina injetora era desligada e logo em seguida ligada. Estes procedimentos foram adotados para a verificação de possíveis diferenças devido ao funcionamento mecânico da máquina injetora. A Tab. (3) demonstra a sequência conduzida dos experimentos.

Tabela 3. Experimentos realizados baseados no planejamento experimental 2³.

Dia	Replicação	Experimentos	Parâmetros injeção (fatores)	
		Ciclo	Recalque (s)	Velocidade de injeção (cm ³ /s)
1º	1ª	1	3	38
		2	6	76
		3	6	38
		4	3	76
1º	2ª	1	3	76
		2	6	38
		3	6	76
		4	3	38
2º	1ª	1	3	38
		2	6	76
		3	6	38
		4	3	76
2º	2ª	1	3	76
		2	6	38
		3	6	76
		4	3	38

2.3 Análise Dimensional e Pesagem das Peças Injetadas

A análise dimensional e a massa das peças injetadas foram utilizadas como variáveis de resposta do experimento, como meio para avaliar o efeito dos fatores estudados no experimento. A análise dimensional foi realizada através da média entre duas medidas obtidas sobre o diâmetro externo da peça, conforme ilustrado pela Fig. (02), utilizando um Paquímetro Digital Mitutoyo (0-150mm) com resolução de 0,01mm.

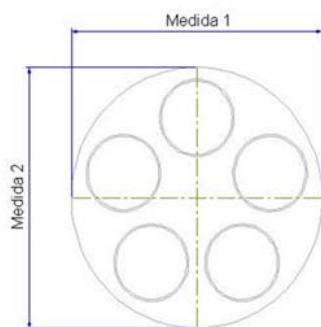


Figura 2. Posições para medição do diâmetro externo da peça.

Para verificação do peso, utilizou-se uma Balança Analítica Marte AY220 com resolução de 0,1mg. Devido as variações obtidas, os dados foram registrados com apenas duas casas decimais. Ambas as análises foram realizadas no laboratório de Caracterização de Materiais do Instituto Superior Tupy- SOCIESC.

3. RESULTADOS

Após o processo de injeção, as peças foram armazenadas em um laboratório com temperatura ambiente, durante um período de vinte e quatro horas antes do início das análises dimensionais. Para Harada (1994), o material injetado sofre uma certa deformação dimensional (volumétrica) no sentido de encolhimento após certo tempo depois de injetado, pelo fato de resfriar lentamente, favorecendo certa contração. A Fig. (3) apresenta as peças que foram injetadas durante o experimento.



Figura 3. Peças injetadas.

A Tab. (4) apresenta os valores da média obtida para os diâmetros, assim como massas obtidas para os respectivos dias e parâmetros de injeção. A compilação dos dados foi realizada com auxílio do software Minitab. Para Montgomery (2004), um método muito útil para avaliar a significância dos fatores é a construção do gráfico de probabilidade normal das estimativas dos efeitos Fig. (4). Se nenhum dos efeitos é significativo, então as estimativas se comportarão como uma amostra aleatória extraída de uma distribuição normal com média zero, e os efeitos plotados se localizarão aproximadamente ao longo de uma reta. Caso houverem efeitos significativos, este tenderão a se afastar da linha de referência.

Pode-se observar através do gráfico de probabilidade normal dos efeitos, apresentado na Fig. (4), que o dia da realização do ensaio não tem efeito significativo sobre a dimensão e a massa da peça. Neste sentido, optou-se em caracterizar o experimento como um planejamento fatorial completo 2^2 , com 4 replicações para cada combinação de fatores, neste caso, o tempo de recalque e a velocidade de injeção.

Tabela 4. Resultados obtidos nos experimentos.

Sequência	Recalque (s)	Velocidade (cm ³ /s)	Dia	Dimensão (mm)	Peso (g)
1	3	38	1º	137,40	42,11
2	6	38	1º	137,85	43,32
3	3	76	1º	137,67	42,14
4	6	76	1º	137,95	43,23
5	3	38	2º	137,38	42,41
6	6	38	2º	137,79	43,18
7	3	76	2º	137,38	41,94
8	6	76	2º	137,82	43,01
9	3	38	1º	137,17	42,03
10	6	38	1º	137,86	43,34
11	3	76	1º	137,58	42,25
12	6	76	1º	137,88	43,21
13	3	38	2º	137,08	41,94
14	6	38	2º	137,73	43,19
15	3	76	2º	137,43	42,06
16	6	76	2º	137,83	43,18

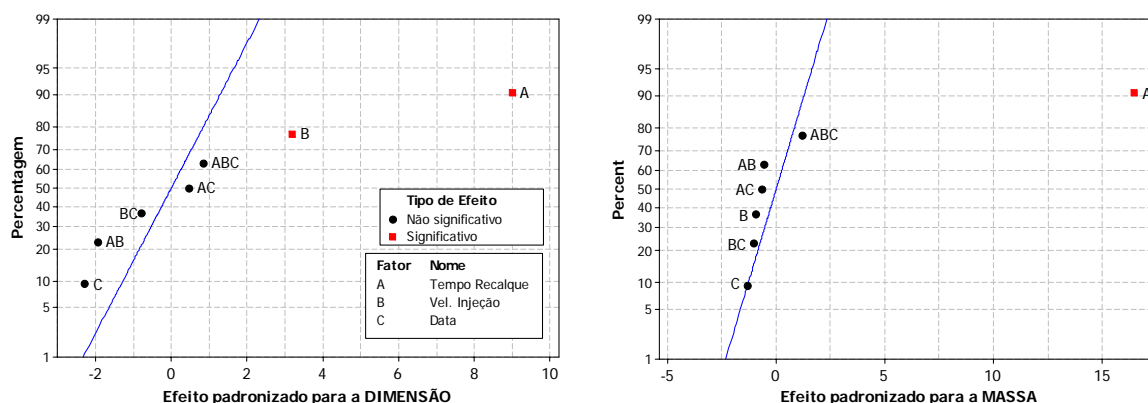


Figura 4. Gráfico da Normalidade dos efeitos, considerando um nível de confiança de 95%.

Para Montgomery e Runger (2003), em qualquer experimento planejado, é importante examinar os resultados e verificar a violação das suposições básicas que poderiam invalidá-los. Ou seja, é necessário que as observações sejam normalmente e independentemente distribuídas com a mesma variância para cada tratamento. Os resíduos são obtidos pelas diferenças entre os valores observados e estimados (médias). A análise dos resíduos pode ser realizada através dos gráficos apresentados nas Fig. (5 e 6), onde:

- A normalidade dos dados é avaliada pelo gráfico da probabilidade normal dos resíduos;
- A independência dos dados é verificada através dos gráficos em linha;
- A igualdade das variâncias é observada através do gráfico de dispersão média x resíduo

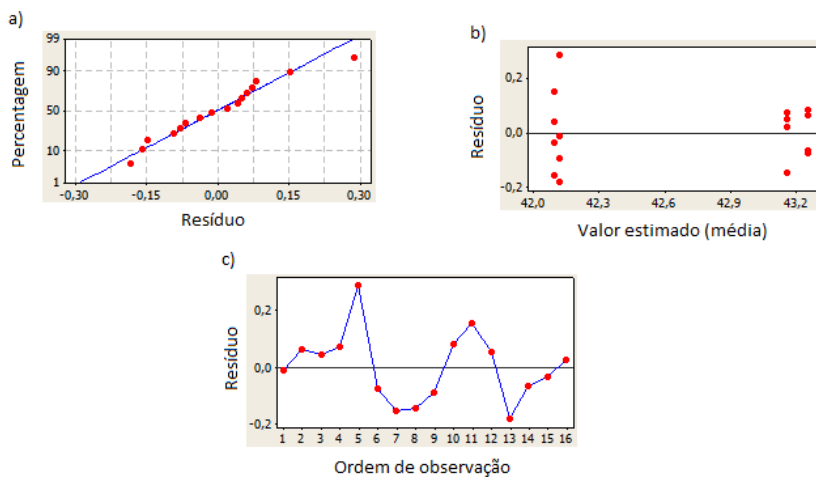


Figura 5. Gráficos de resíduos referentes à massa (g) das peças injetadas.

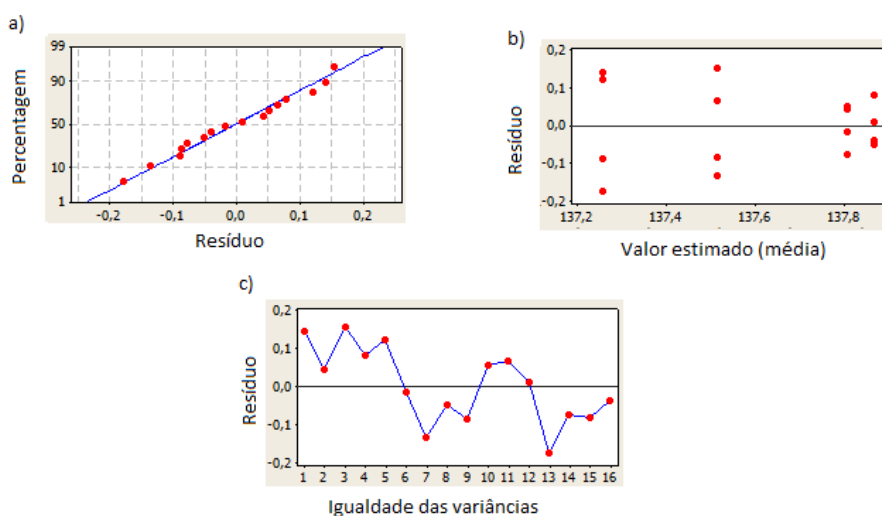


Figura 6. Gráficos de resíduos referentes ao dimensional das peças injetadas.

Através da representação gráfica dos resíduos, não é possível identificar um ponto discrepante que venha a comprometer a qualidade das análises. Vale destacar que o número de replicações realizadas (4) também contribuiu para a convergência dos valores para cada combinação, auxiliando assim na avaliação dos resultados. Neste sentido, foram gerados novamente os gráficos de probabilidade normal para um nível de confiança de 95%, tanto para a análise dimensional, como para a massa da peça injetada Fig. (7).

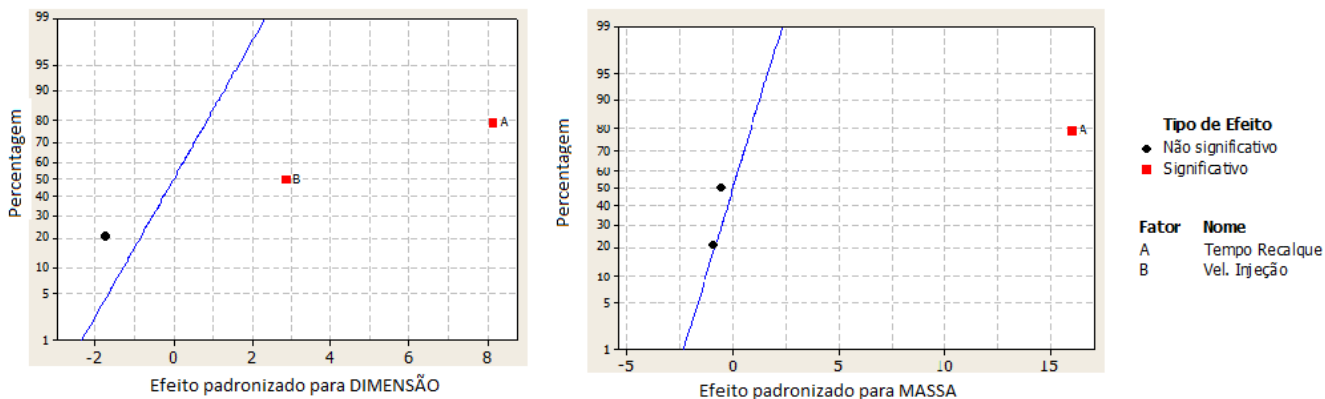


Figura 7. Gráfico da Normalidade dos efeitos, considerando um nível de confiança de 95%.

Através dos gráficos apresentados na Fig. (7), pode-se verificar, com nível de significância de 95%, que ocorre um efeito devido ao tempo de recalque, tanto na dimensão como no peso da peça. No entanto, a velocidade de injeção somente tem efeito sobre a dimensão da peça. O efeito principal de um fator é a diferença entre a resposta média no nível mais alto e a resposta média no nível mais baixo (Montgomery, 2004). Isto pode ser melhor observado na Fig. (8). Estes resultados estão coerentes com diversos estudos sobre a influência do recalque em peças injetadas, pois segundo referências feitas por Pötsch e Michaeli (2008), um aspecto de grande importância na fase de recalque durante o processo de injeção, é a adição de mais material na cavidade do molde com o objetivo de compensar a contração volumétrica da peça durante seu resfriamento, resultando na minimização da contração da peça, prevenção da ocorrência de bolhas e rechupes e em um aumento no peso final da peça à medida em que se aumenta o tempo de recalque. Em relação a velocidade de injeção, quando esta é suficientemente alta melhora as linhas de solda no moldado e o brilho da peça, diminuindo o nível de tensões localizadas (se associado a um perfil de pressurização), reduzindo desta forma o empenamento e contração das peças (Manrich, 2005).

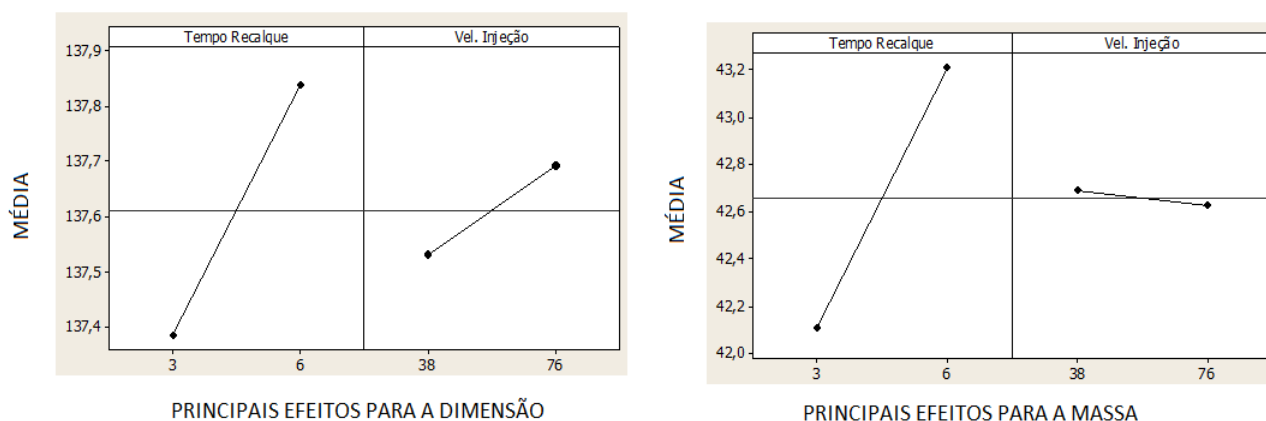


Figura 8. Gráfico representativo dos principais efeitos dos parâmetros de injeção sobre as peças.

Ainda conforme o gráfico da probabilidade normal apresentado na Fig. (7), verificou-se que não existe uma interação entre os parâmetros tempo de recalque e velocidade de injeção. Isto pode ser melhor visualizado no gráfico das interações, apresentado na Fig. (9), onde evidencia-se a não interação, devido as linhas paralelas apresentadas.

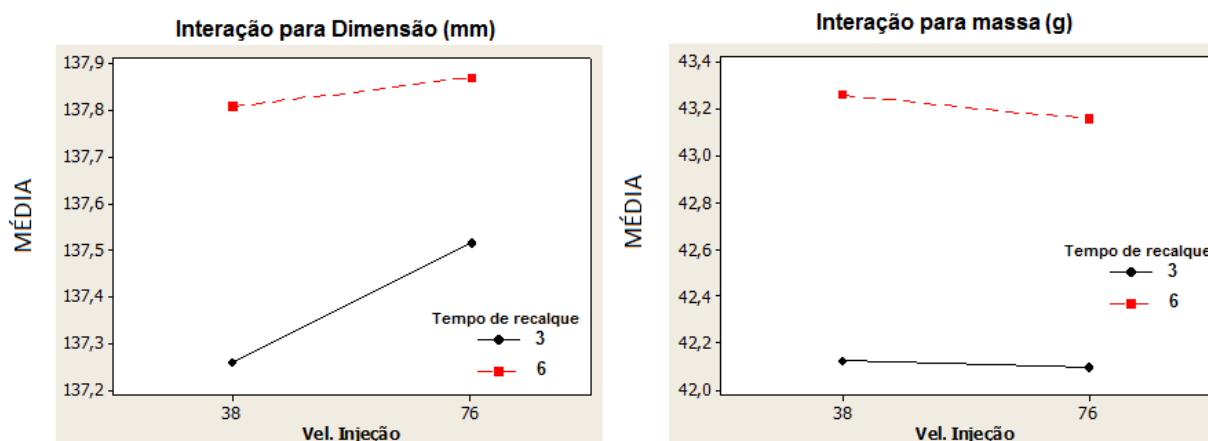


Figura 9. Gráfico das interações para velocidade de injeção x tempo de recalque.

4. CONCLUSÃO

O planejamento fatorial para a avaliação dos resultados obtidos nos experimentos referentes a influência do tempo de recalque e velocidade de injeção sobre as características das peças injetadas, tais como o peso e o dimensional, apontou que o tempo de recalque possui grande importância no processo de injeção, pelo fato deste apresentar influência significativa para as duas situações estudadas, peso e dimensional da peça. Este resultado deve-se ao fato de que a fase de recalque é a injeção de mais material nas cavidades, a uma pressão controlada, geralmente constante, na qual polímero é compactado para dentro da cavidade da peça para compensar a contração do material durante a solidificação, evitando o chamado “rechupe” das peças. O recalque também leva a um aumento no peso da peça devido a adição de mais material dentro da cavidade. Para o caso do parâmetro velocidade de injeção, este apresentou somente efeito sobre a dimensão da peça, onde velocidades de injeção mais alta contribuem na redução do empenamento e contração das peças.

A ferramenta estatística utilizando o procedimento DOE, mostrou-se efetiva em avaliar parâmetros de processo de moldagem por injeção, podendo desta forma ser utilizada em diferentes aplicações que podem abranger a otimização de processos de manufatura contribuindo visando a qualidade do produto final.

5. REFERÊNCIAS

- Bittencourt, M., 2006, “Desenvolvimento e fabricação de um molde para injeção de plástico: estudo das etapas de fabricação”. TCC de Tecnologia em Mecânica-Fabricação - Instituto Superior Tupy – IST, Joinville – Santa Catarina.
- D’ávila, m. A.; Ahrens, C. H.; Bretãs, R. E. S., 1997, “Simulação do Processo de Injeção de Polipropileno Isotático (iPP) Utilizando um Modelo de Cinética de Cristalização Quiescente”. Polímeros: Ciência e Tecnologia – v.7, n.4, p64-72.
- Chen, P.; Chuang, M.; Hsiao, Y.; Yang, Y.; Tsai, C., (2009), “ Simulation and experimental study in determining injection molding process parameters for thin-shell plastic parts via design of experiments analysis”. Expert System with Applications, V. 36, p. 10752-10759.
- Gondak, M. O.; Gonçalves, M. W.; Reinert, A. F.; Zluhan, G. P., 2006, “Influência Do Curso De Dosagem Na Fase De Recalque Nas Propriedades Mecânicas E Térmicas De Polímeros Moldados Por Injeção”. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – Foz do Iguaçu – Paraná, p.9069-6079.
- Harada, J. 1991, “Moldagem por injeção: projeção e princípios básicos”. 1 ed. São Paulo: Medialdea.
- Harada, J. 1994, “Peças com Defeitos de Injeção do Tipo Empenamento Sob Contração Irregular”. Polímeros: Ciência e Tecnologia - p44.
- Manrich, S., 2005. “Processamento de Termoplásticos”. Ed. ArtLiber, São Carlos, SP.
- Montgomery, D. C.; G. C Runger, 2003, “Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros”. 2a. Edição. Rio de Janeiro, LTC, 2003.
- Montgomery, D., 2004, “Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade”. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- Murakami, E. H.; Bom, R. P., 2008, “Influência dos parâmetros de processo sobre a tensão residual na superfície de peças injetadas”. 63º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.
- Nishimoto, A. R., 2001, “Simulação numérica da injeção de termoplásticos em Moldes - estudo comparativo de alguns modelos Computacionais”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis –Santa Catarina.
- Tino, V. F. , 2005.” Utilização de análise de componentes principais na regulação de máquinas de injeção plástica”.Tese de Mestrado de Ciências em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Pötsch, G., Michaeli, W., 2008, “Injection Molding”. 2ªEdição, Hanser.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

INJECTION SPEED AND HOLDING TIME INFLUENCE ON THE CHARACTERISTICS OF INJECTED POLYPROPYLENE PARTS.

Anderson de C. Fernandes, anderson_cafar@hotmail.com¹

Alexandre M. Ferreira, alexandre.mcferreira@gmail.com¹

Rafael Junkes, rafa_junkes@hotmail.com¹

Janaina L. Leite, janaina.leite@sociesc.org.br¹

Sueli F. Beckert, sueli@sociesc.org.br¹

¹SOCIEDADE EDUCACIONAL DE SANTE CATARINA (SOCIESC), Rua Albano Schmidt, 3333 Joinville – Santa Catarina - SC 89.206-001.

Abstract: During the injection molding process of polymeric materials, the involved parameters have great influence on the microstructural characteristics and mechanical properties of the final product, resulting in parts with different structural and visual aspects. This study evaluates the speed injection and holding time influence on the weight and dimensions variation of the injection molded parts. Polypropylene was injected using different injection speeds, 38 and 76 cm³ / s and holding time, 3.0 and 6.0 seconds. Statistical analysis using the DOE (Design of Experiments) procedure was carried out in order to investigate the influence of injection parameters. The holding time was the parameter that showed the highest significance, influencing the weight and dimensional molded part.

Keywords – Injection Process, Holding Time, Speed Injection.