

OS EFEITOS NO EMPACOTAMENTO DE PEÇAS INJETADAS PARA DIFERENTES ESPESSURAS DE CANAIS DE ATAQUE (GATE) TIPO FILME¹

*Altair Carlos da Cruz²
Ricardo Pedro Bom³*

Resumo

Este trabalho tem como um dos objetivos, determinar a variação da massa de corpos de prova fabricados pelo processo de moldagem por injeção. A partir de equações que tratam da solidificação de placas, será correlacionado o tempo de solidificação do canal de ataque com o tempo de início de estabilização da massa da cavidade. Para o desenvolvimento experimental será utilizado um copolímero estireno-acrilonitrila (SAN). Para a realização dos corpos de prova, foi necessário secar o material, fixar alguns parâmetros de processo, tais como; pressão de injeção, tempo de injeção, temperatura nos diferentes estágios e temperatura do molde. Os parâmetros variáveis foram: o tempo e a pressão de recalque. Com os corpos de prova prontos, suas massas foram determinadas, inicialmente para ambos cavidade e canais de distribuição, em seguida, para a cavidade individualmente que foi separada dos canais de distribuição. A variação da massa da cavidade, para as diferentes pressões de recalque e seus respectivos desvios padrão foram representadas graficamente em função da variação do tempo de recalque. O tempo em que a massa da cavidade começa a estabilizar, está coerente com os tempos calculados, para a temperatura de não fluxo, e a temperatura de transição vítrea, a pressão de recalque.

Palavras-chave: Termoplástico; Solidificação; Massa injetada; PvT.

¹ Trabalho apresentado no 3º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes. 10 a 12 de agosto de 2005. São Paulo. SP. Brasil.

² Engenheiro Mecânico. Mestrando em Ciência e Engenharia de Materiais no Centro de Ciências Tecnológicas - Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Professor da Faculdade de Tecnologia Senai.

³ Engenheiro Mecânico. Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais e Doutor em Física de Polímeros. Professor no Centro de Ciências Tecnológicas - Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

INTRODUÇÃO

O processo de moldagem por injeção é um dos mais importantes processos industriais, sendo largamente empregado na fabricação de peças plásticas.

Diante de todas as variáveis possíveis, para a execução e funcionamento de um molde de injeção, a forma e a(s) localização(ões) do canal de ataque tem sido um ponto de extrema relevância nos projetos de molde de injeção, devido estar diretamente ligado a quantidade de massa recebida na cavidade em função do tempo de solidificação desse canal.

A localização ideal é o mais próximo possível do centro da peça, afim de minimizar as distâncias que o material deve percorrer para encher a cavidade. Quando o projeto da peça impedir este posicionamento, deve-se utilizar uma entrada maior, ou várias entradas por cavidade, permitindo um enchimento mais rápido. (1)

MATERIAIS E MÉTODOS

Com essa complexidade no dimensionamento do canal de ataque, esse trabalho apresenta um estudo abordando a variação da massa nos corpos de prova, em função da espessura do canal de ataque e dos parâmetros de processos. (2)

O material utilizado neste trabalho foi o termoplástico copolímero de estireno acrilonitrila (SAN) tipo LURAN 358 N da BASF S.A., onde apresenta alta resistência mecânica, dureza e estabilidade de forma ao aquecimento, além da alta transparência, com índice de fluidez entre 21,9 e 23,1 cm³/10min, e secado por 2 horas à 80°C.

A injetora utilizada para este experimento, foi a injetora da marca Battenfeld, modelo 250 Plus, com rosca de 22 mm e capacidade de injeção de 27 g de PE.

Os corpos de prova tem a forma como indicado pela Figura 1. No molde de injeção foi usinado duas cavidades iguais e paralelas no mesmo molde, porém, com duas espessuras do canal de ataque diferentes. Um dispositivo permitiu escolher a cavidade a ser injetadas. Os efeitos da largura do canal de ataque são desprezíveis frente a espessura do mesmo.



Figura 1. Corpo de prova com a galhada.

Os corpos de prova foram injetados com os seguintes parâmetros: tempo de injeção de 5,5 s; pressão de injeção de 33 %, correspondente à 53,7 MPa; velocidade de injeção de 17 %, correspondente à 9,3 cm/seg; temperatura de injeção de 230 °C e temperatura na superfície do molde de 52±2 °C e uma temperatura ambiente de 25 °C.

Para este experimento foram injetados aproximadamente 1000 (mil) corpos de prova, sendo que, o molde onde foram injetados os corpos de prova, existem 2

(duas) cavidades com espessuras do canal de ataque diferentes, identificados como sendo o Caso 1 para o canal de espessura de 1,088 mm e o Caso 2 para o canal de espessura de 2,202 mm.

Após o processamento de injeção dos corpos de prova, se determinou a massa total (cavidade + galhada) através de uma balança digital de precisão com divisão de escala na ordem de 1.10^{-4} g. Após a pesagem, se iniciou o processo de corte, separando a galhada e a cavidade. (3)

Para este corte se utilizou uma máquina serra fita com um dispositivo adaptado para esta finalidade, o qual permitiu uma repetibilidade nas dimensões das peças cortadas.

RESULTADOS

Um dos parâmetros essenciais para o processo de moldagem por injeção, é o tempo de injeção (t) e recalque necessário para que a cavidade seja preenchida e compactada, e correlacionado à esse tempo, temos a velocidade (V), a vazão (Q), a temperatura (T) e a pressão (P) de injeção, tempo de resfriamento que também são parâmetros que influenciam no processo.

Os resultados que serão mostrados a seguir, a partir dos experimentos, demonstram uma forte dependência dos parâmetros de processo tais como, da pressão e do tempo de recalque do material durante a fase de recalque.

No primeiro momento, a fase de injeção foi realizada para os dois casos, sem a pressão e o tempo de recalque, onde determinamos a massa inicial. A fase de injeção termina no exato momento em que a última região da cavidade for preenchida. Em seguida inicia a fase de recalque, sendo dois parâmetros que podem ser ajustados, a pressão e o tempo de recalque.

Na Figura 2, está representado a variação da massa da cavidade (g) em função do tempo de recalque (s) para o Caso 1. Após a separação da cavidade com a galhada, foi determinado à média das massas da cavidade, antes do processo de recalque, portanto o ponto inicial é sem recalque. Para os tempos de recalque a uma pressão de recalque de 10% e 20%, a massa da cavidade, apresenta uma oscilação. A média das massas, são as vezes inferiores a massa inicial da fase de injeção, provavelmente devido a baixa pressão de injeção utilizada na máquina injetora. Quanto às pressões de recalque de 33 e 40 % tiveram um acréscimo de massa até aproximadamente 2,0 segundos a partir deste tempo, a massa da cavidade estabilizou. Pode-se concluir que: o canal de ataque se solidificou após o tempo de recalque de aproximadamente 2,0 segundos, visto que a cavidade não recebeu mais massa após esse tempo de recalque. A estabilização da massa pode ser observada para as pressões de recalque acima de 33 %. Entretanto, para os dois primeiros segundos de recalque, a variação de massa na cavidade depende, tanto da pressão quanto do tempo de recalque. Pode-se observar ainda nesta figura, que quanto maior a pressão, maior é a quantidade de massa injetada na cavidade e mais rápido é o incremento de massa.

Na Figura 2, a região hachureada representa o intervalo de tempo onde provavelmente no primeiro momento o material atingiu a temperatura de não fluxo e no segundo momento se deu a solidificação do canal de ataque, não permitindo o aumento de massa da cavidade.

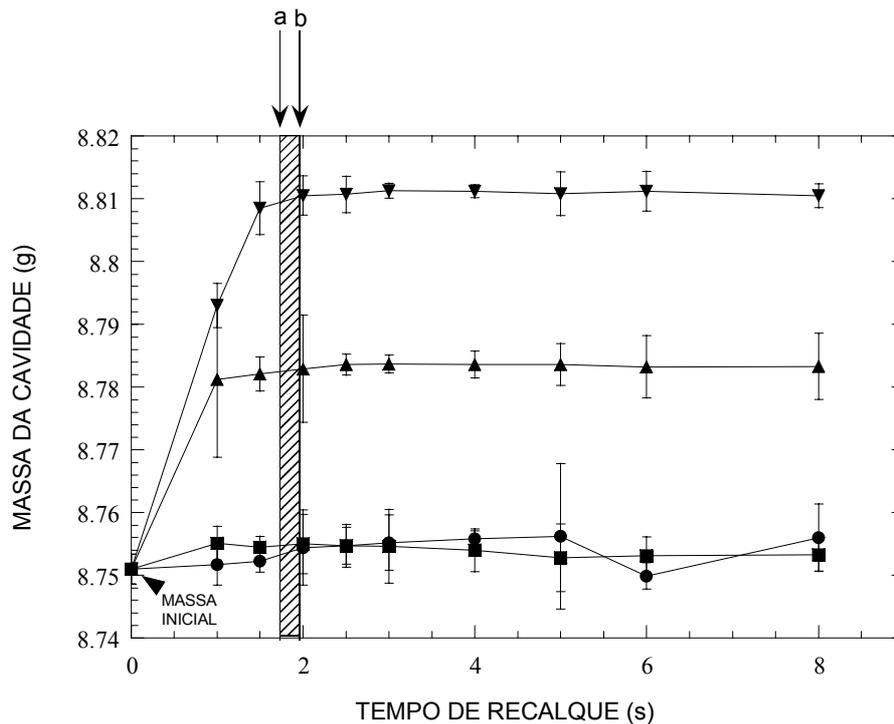


Figura 2. Massa da cavidade em função da variação do tempo de recalque para a pressões de recalque (●) 10 %; (◐) 20 %; (◑) 33 %; (◒) 40 %; tempo para atingir: (a) temperatura de não fluxo; (b) Tg a P=64,8 MPa.

Neste Caso 2, além das pressões de recalque utilizadas no Caso 1, o experimento foi realizado também com uma pressão de recalque de 60 %, porém, somente para os tempos de 1 e 2 segundos, em virtude de aparecimento de rebarbas na cavidade para tempos superiores ou pressões maiores.

Na Figura 3, está representada a variação de massa na cavidade em função do tempo de recalque para as pressões de recalque estabelecidas. Pode-se observar que houve um aumento significativo de massa na cavidade para a pressão de recalque de 60 % até o tempo de 2s, entretanto, para as demais pressões de recalque, o aumento de massa na cavidade é bastante expressivo até aproximadamente o tempo de injeção de 6,0 segundos e após esse tempo a massa da cavidade se mantém praticamente sem oscilação.

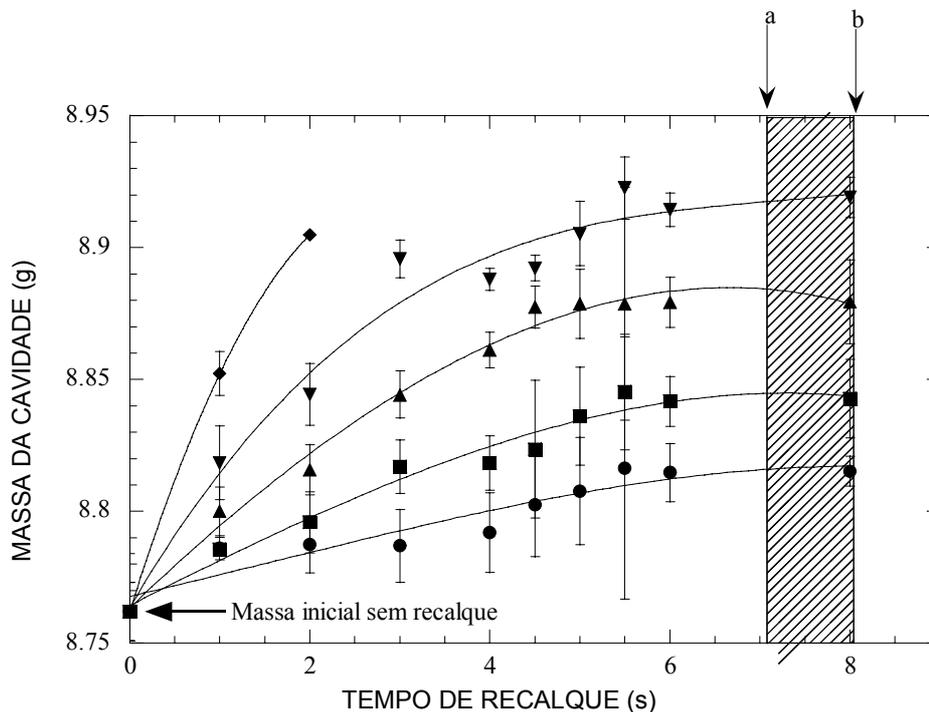


Figura 3. Massa da cavidade em função da variação do tempo de recalque para as pressões de recalque. (●) 10 %; (◐) 20 %; (◑) 33 %; (◒) 40 %; (◔) 60 %; tempo para atingir: (a) temperatura de não Fluxo; (b) Tg a P=64,8 MPa

O tempo de solidificação do canal de ataque (gate) é um parâmetro importante para a tecnologia de moldagem por injeção. Visto que, se for muito fino o canal de ataque, não permite compactar o material na cavidade. Se for muito espesso, aumenta-se a compactação do material. Assim, para os Casos 1 e 2, os tempos de solidificação dos canais de ataque foram diferentes, devido a espessura diferentes dos mesmos.

A área hachureada das Figuras 2 e 3, representa o intervalo de tempo provável para o material atingir a temperatura de não fluxo e em seguida a solidificação do canal de ataque.

Na fase de injeção, foi necessário uma pressão de 53,7 MPa, ver ponto **A** da Figura 4. Terminada a fase de injeção, o equipamento entra com a pressão de recalque, neste caso foi imposta uma pressão superior a pressão de injeção e igual a 64,8 MPa, ver ponto **B** da figura. Desprezando a variação térmica durante a fase de recalque o ponto **B** está logo abaixo do ponto **A**. Em seguida a medida que o material vai resfriando o seu volume específico vai diminuindo conforme a figura abaixo, ver os pontos **a**; **b**; **c** e **d**. Do ponto **B** para o ponto **a** ou **b**, é necessário um certo tempo de resfriamento. Porém, se a pressão de recalque cessar, a pressão do moldado irá diminuir e o volume específico tomará outro caminho, indo em direção ao ponto **C** e depois em direção a **D**. Se a pressão de recalque for mantida por um período suficientemente grande o material resfriará e solidificará na pressão de recalque. Com isto, o caminho de solidificação passará pelos pontos **c** e **d**. Deve-se notar nas curvas PvT que para cada curva existe uma temperatura de transição Tg. Graficamente determinamos o valor da Tg como sendo aproximadamente igual a

120°C, para as condições deste processo. Neste caso, mantendo-se a pressão de 64,8 MPa quando a temperatura atingir 120°C todo o material passará para a fase sólida. A partir desta temperatura até a temperatura ambiente, tem-se, o resfriamento e a contração do material na fase sólida, ver caminho (d, D), com a respectiva mudança de inclinação da reta, pois, a partir deste ponto não há mais a necessidade de se recalcar o material, o moldado convergirá a pressão nula e a temperatura ambiente, ponto D. Deve-se notar que para os casos estudados, a cavidade fará um caminho diferente dos canais de ataque, visto que este último solidificará antes que a cavidade.

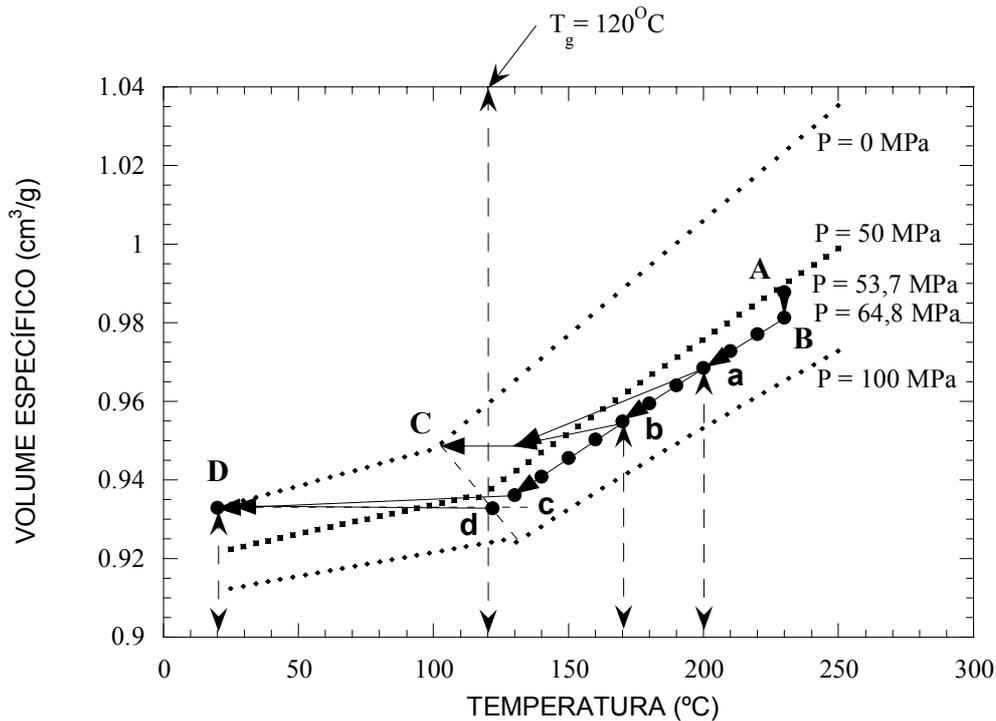


Figura 4. Volume específico vs temperatura em função da pressão, caminho de solidificação do material injetado. (4)

A equação 1 foi estabelecida para se determinar a temperatura de uma placa plana. A solução desta equação para $n=0$, resulta na equação 2 (5) que é uma solução aproximada. Os principais termos destas equações são: a temperatura do molde (T_m); a temperatura de injeção (T_i); a difusividade térmica (α); a espessura da placa ($y = 2e$); o tempo de resfriamento (t); x é um valor que varia de zero a “ e ”, para a solução da equação 1 “ n ” é inferior a 20 termos.

$$\frac{T_m - T}{T_m - T_i} = 2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \pi} \exp \left[- \left(n + \frac{1}{2}\right)^2 \pi^2 \frac{\alpha \cdot t}{e^2} \right] \cos \left[\left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\pi \cdot x}{e} \right] \quad \text{Equação 1}$$

$$t = -\frac{4e^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left[\frac{\pi}{4} \left(\frac{T_m - T}{T_m - T_i} \right) \right]$$

Equação 2

A solução da equação 1 para os Casos 1 e 2 e considerando a difusividade térmica (α) constante, está representado na Figura 5, pelas curvas tracejadas.

A solução da equação 2 ,para os casos 1 e 2 e considerando a difusividade térmica (α) dependente da temperatura, está indicado também na Figura 5, pelas curvas contínuas. Nesta figura estão indicados cinco temperaturas, sendo a primeira de 52°C, que é a temperatura do molde, a segunda de 101°C, refere-se a temperatura de transição vítrea (T_g) do material a pressão nula. A terceira à 120°C, foi obtido a partir das curvas PVT,que descreve o caminho de solidificação do material, ver Figura 4. A quarta temperatura, de 130°C, é a temperatura de não fluxo do material(6). Esta temperatura é chamada assim, devido ao estado do material plastificado que apresenta uma alta viscosidade, a qual não permite mais que o material flua. A quinta temperatura, de 230°C, é a temperatura na qual o material foi injetado.

Tomando a temperatura de não fluxo como referência para o Caso 1, a partir de aproximadamente 1,74s não haverá mais acréscimo de material na cavidade, comparando com o resultado experimental, Figura 1, este valor é coerente, e está dentro da área hachureada. Para o Caso 2, o tempo seria de 7,10s, e comparando com a Figura 2 pode-se observar que este tempo se encontra dentro de uma faixa, a qual é bem provável que teve início da estabilização da massa.

Utilizando a temperatura de transição vítrea para a pressão de 64,8 Mpa, o tempo de solidificação para o Caso 1 foi de 1,98s para a equação 2 e 1,97s para a equação 1. Para o caso 2 o tempo de solidificação foi de 8,08s para a equação 2 e 8,04 s para a equação 1, valores que estão dentro das variações experimentais, e encontra-se dentro da região hachureada nas Figuras 2 e 3.

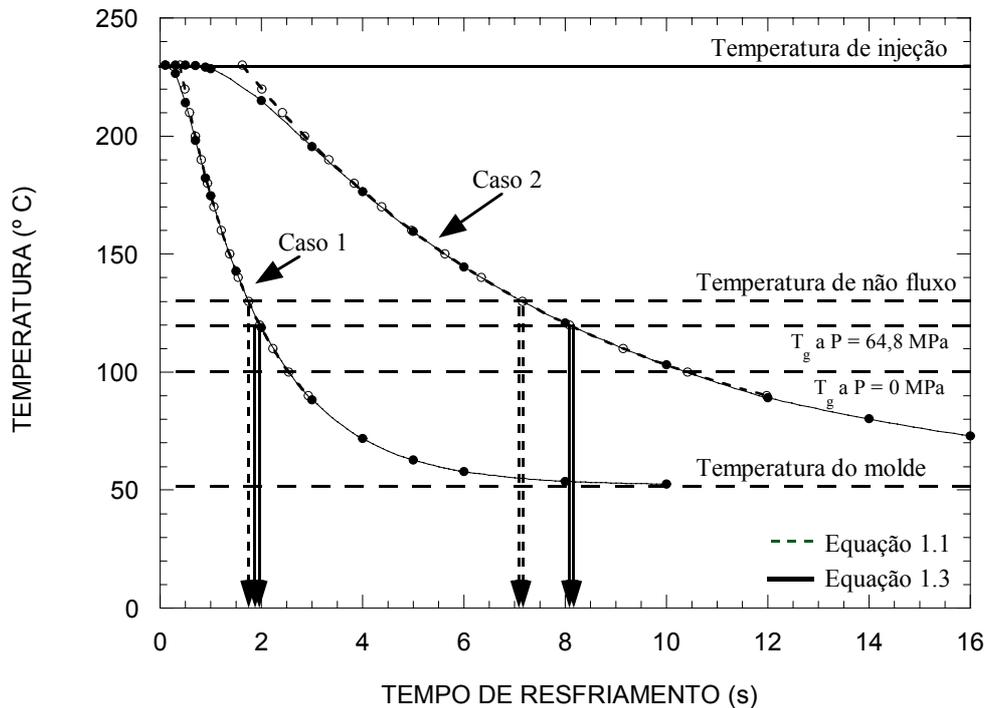


Figura 5. Temperatura vs tempo de resfriamento.
 Caso 1: $y=1,088\text{mm}$ [- - -] $t=1,74\text{s} / t=1,98\text{s}$; [—] $t=1,74\text{s} / t=1,97\text{s}$
 Caso 2: $y=2,202\text{mm}$ [- - -] $t=7,10\text{s} / t=8,04\text{s}$; [—] $t=7,15\text{s} / t=8,08\text{s}$

CONCLUSÃO

Variando o tempo e a pressão de recalque pode-se observar o acréscimo da massa da cavidade. Quando a temperatura do material atingir a temperatura de não fluxo, dentro do canal de ataque, a massa da cavidade não será mais alterada, esta transição foi observada graficamente. A partir de equações, foi possível determinar o tempo em que a cavidade não receberá mais material e o tempo em que ocorrerá a solidificação do canal de ataque. Os resultados experimentais e os resultados analíticos são coerentes. Com os resultados da equação 2, a espessura da cavidade e as espessuras diferentes dos canais de ataque, foram representados graficamente e observa-se que existe uma variação exponencial do tempo de solidificação em função da variação da espessura, conforme a Figura 6. Portanto, conclui-se que quanto maior a espessura das peças injetadas, maior é o tempo de solidificação das mesmas.

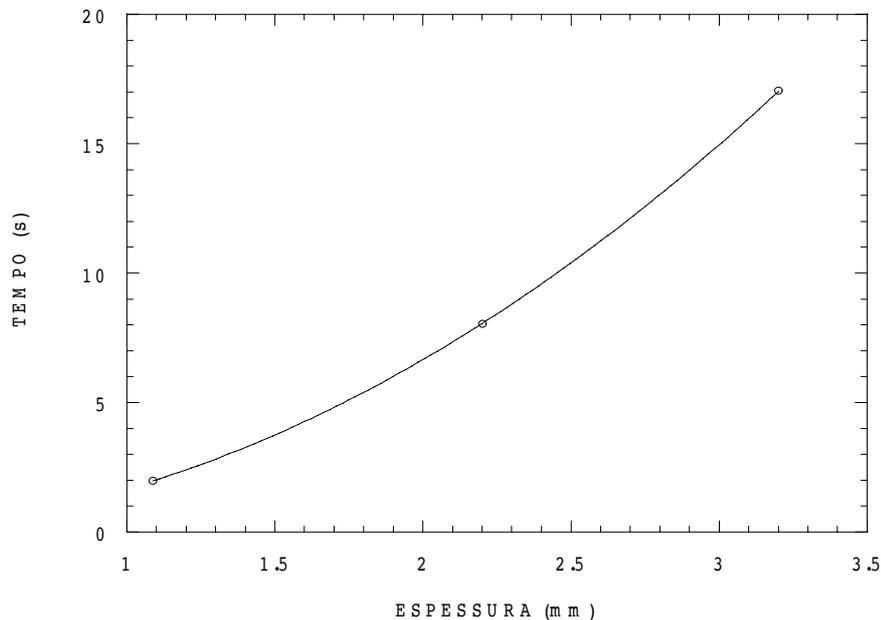


Figura 6. Tempo de solidificação vs Espessura

Agradecimentos

À empresa Macroplast pelo fornecimento do material polimérico e o incentivo dado à este trabalho pela Faculdade de Tecnologia Senai.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 HARADA, Júlio. **Moldes para injeção de termoplásticos**. São Paulo: Artiber, 2004.
- 2 PEDRO BOM, R. **Efeito da pressão e do tempo de recalque no empacotamento de peças injetadas**. Monografia apresentada para a obtenção do Título de Especialista em Ciência e Engenharia de Materiais no Centro de Ciências Tecnológicas - Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, junho, 2002, p 17 -24.
- 3 PEDRO BOM, R. Efeito da pressão e do tempo de recalque no empacotamento de peças injetadas. **Revista Plástico Industrial**, maio 2002, p 168 – 181.
- 4 DA CRUZ, Altair Carlos. **Determinação do tempo de solidificação de peças termoplásticas moldadas pelo processo de injeção**. Dissertação de mestrado a ser apresentada em julho 2005 em Ciência e Engenharia de Materiais no Centro de Ciências Tecnológicas - Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, p 93 -95.
- 5 AGASSANT, J.F.; AVENAS, P.; SERGENT, J.P.; VICENT, M.; **La mise em formédês matièrès plastiques**. 3.ed. Paris: Tec & Doc Lavoisier, 1996.
- 6 MOLDFLOW. **Aplicativo versão 4.1**, biblioteca de materiais, SAN, Basf.

THE EFFECTS OF INJECTION MOLDING PACKING FOR DIFFERENT THICKNESS OF FILM TYPE GATES

*Altair Carlos da Cruz
Ricardo Pedro Bom*

Abstract

One of the aims of this work is to determine the model test bulk used by the injection molding process. The mathematical model governing the plate solidification will indicate the solidification time of the gate together with the beginning of the stabilization of the cavity bulk. In this test a copolymer styreneacrylonitrile (SAN) will be used. And in order to develop the model tests, the material had to be dried to establish some parameters like: injection pressure, injection time, temperature of the different stages as well as moulding temperature. The variable parameters were the time and the pressure of the discharge pressure. As the model tests were fully developed, bulks were determined, first for the mould cavity and branches and next for the single cavity which was separated from the branches. The variation of the cavity bulk for the different discharge pressures and the standard deviation were graphically represented due to the time deviation of the discharge. The results showed that the time the bulk cavity begins to stabilize matches the calculated time, for the nonflow temperature, as well as the glass part temperature, the discharge pressure.

Key-words: Thermoplastical; Solidification; Injection bulk; PvT.