

DESENVOLVIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS EM MOLDES DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS

Lucas Beletatti Avansi, lucasavansi@hotmail.com¹

Carlos Mauricio Sacchelli, carlos.sacchelli@gmail.com¹

Maikol Funk Drechsler, maikoldrechsler@gmail.com¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Rua Presidente Prudente de Moraes, 406 - Santo Antônio, Joinville - SC, 89218-000,

Resumo: O desenvolvimento da tecnologia no setor de moldagem de polímeros está em crescente evolução, na qual a injeção de termoplásticos vem se destacando, muito devido a sua repetitividade e rápidos ciclos de produção que permitem alta produtividade. Porém, para pequenas quantidades de peças, o processo de injeção pode não se tornar atraente devido ao alto custo do molde. O processo de injeção consiste essencialmente no aquecimento do polímero até a temperatura de trabalho, num cilindro aquecido e seu deslocamento forçado para o interior de um molde com as formas das peças desejadas, onde o polímero solidifica devido ao sistema de refrigeração. A peça moldada é então, extraída do molde por meio do sistema de extração. Nesse ciclo o tempo de refrigeração tem grande importância, pois é o tempo mais longo do processo e, portanto tem grande impacto na produtividade do processo além de influenciar a qualidade final do produto. Assim essa pesquisa tem por objetivo analisar os sistemas de refrigeração e propor melhorias, visando aumentar a eficiência no ciclo de produção. Neste estudo, será utilizado o software computacional MolFlow® que permite a simulação de todo o processo, sendo desta maneira possível otimizar o ciclo de produção.

Palavras-chave: injeção, polímero, molde, refrigeração, MolFlow®

1. INTRODUÇÃO

Novas tecnologias no setor de moldagem de polímeros são necessárias e crescentes. Dentre os processos de transformação de polímeros, o de injeção se destaca, devido a inúmeras vantagens, tais como a sua repetitividade, rápidos ciclos de produção, obtenção de formas complexas entre outros. Porém, o tempo para o desenvolvimento de produtos vem diminuindo com o aumento da competitividade, desta maneira como apontado por Chen e Cheng (1999), a produção dos moldes de produtos injetados surge como uma restrição na demanda dos clientes.

O processo de injeção consiste essencialmente no aquecimento do polímero até a temperatura de trabalho, em um cilindro aquecido e seu deslocamento forçado para o interior de um molde com as formas das peças desejadas, onde o polímero solidifica devido ao sistema de refrigeração. A produto moldado é, então, retirado no molde por meio do sistema de extração. Nesse ciclo, o tempo de refrigeração tem grande importância, pois é o tempo mais longo do processo, de acordo com Ching (2002) o tempo de resfriamento durante um processo de moldagem por injeção geralmente representa cerca de 2/3 do tempo total do ciclo, portanto tem grande impacto na produtividade do processo além de influenciar a qualidade final do produto.

Neste processo o molde de injeção ocupa um lugar de destaque, contudo, como o seu custo é elevado, geralmente torna-se inviável para um pequeno número de injeções.

De acordo com Duleba e Greskovic (2012) e Dimla et al (2005) o molde é o componente mais importante no processo de fabricação de um componente injetado porque influencia o tempo de ciclo e a qualidade do produto.

As melhores propriedades componentes injetados só podem ser alcançadas quando a temperatura correta do molde é utilizada e mantida durante o processo de fabricação. A temperatura do molde influencia as propriedades mecânicas tais como: contração, deformação, qualidade da superfície. Além do tempo de ciclo e do comprimento do fluxo de produtos de paredes finas.

Como o mercado exige cada vez mais a redução do tempo de fabricação nas indústrias, as empresas transformadoras de polímeros, buscam de forma incessante a redução destes tempos. Visando esta redução são importantes pesquisas que objetivam a redução do ciclo da moldagem de injeção, sendo eu neste ciclo, o tempo de refrigeração é o que pode ter resultados mais expressivos, pois como descrito anteriormente é o responsável por cerca de 2/3 do tempo total de moldagem.

Assim este trabalho, tem por objetivo analisar alguns sistemas de refrigeração, propondo melhorias, visando aumentar a eficiência no ciclo de produção. Neste estudo será utilizado o software computacional Moldflow® que permite a simulação do o processo, sendo desta maneira possível otimizar o ciclo de produção.

2. MOLDES DE INJEÇÃO PARA TERMOPLÁSTICOS

Segundo Manrich (2005), um molde de injeção, pode ser definido como uma ferramenta construída que, adaptada a uma máquina de injeção, possibilita produzir produtos de geometria variada, com pouca ou grande complexidade, através de um ciclo produtivo, possuindo boa repetitividade no que se refere à forma, acabamento e tolerâncias dimensionais do componente injetado.

O molde de injeção pode apresentar diferentes configurações e grau de complexidade em função da peça, da produtividade solicitada, do custo do molde e do grau de dificuldade de injetar-se um produto.

De modo geral, o molde de injeção é constituído de um conjunto fixo e outro móvel (Figura 1), os quais são constituídos de uma ou mais cavidades que dão forma ao produto.

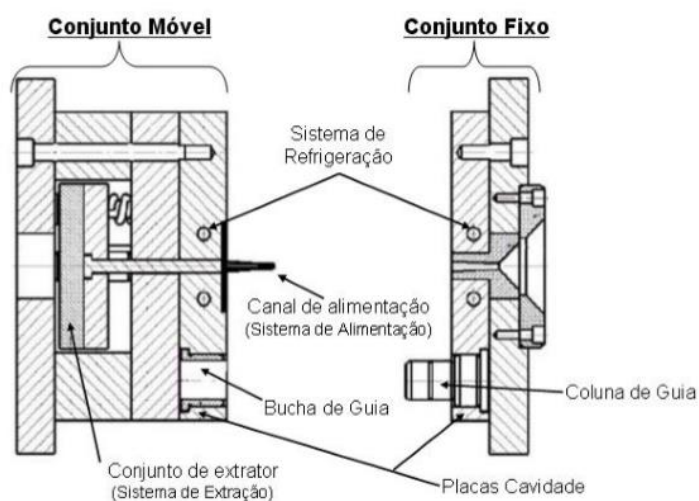


Figura 1 – Configuração básica do molde de injeção

Manrich (2005) classifica em três tipos de moldes, sendo essa classificação em função do sistema de alimentação: moldes com canais frios, que podem ser de duas placas ou três; moldes com canais isolados, que podem ser divididos em convencionais ou com aquecimento e moldes com canais a quente, sendo divididos com distribuição fria ou quente.

3. SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

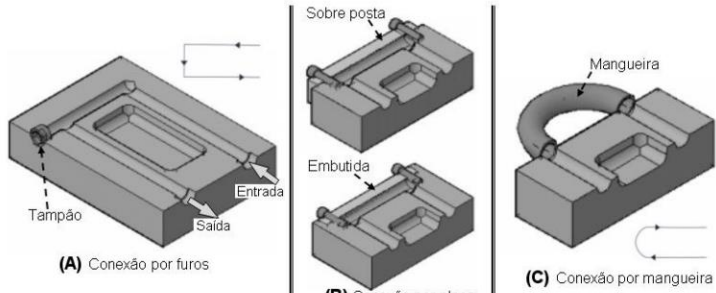
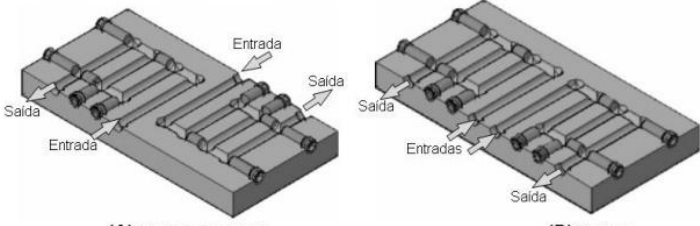
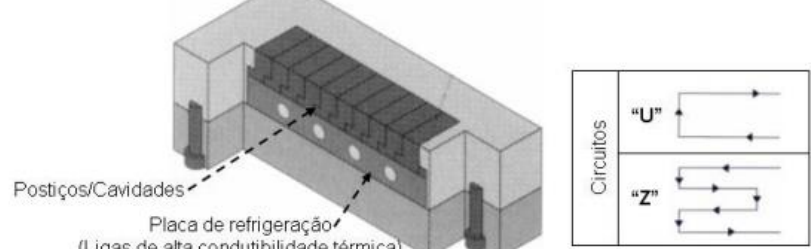
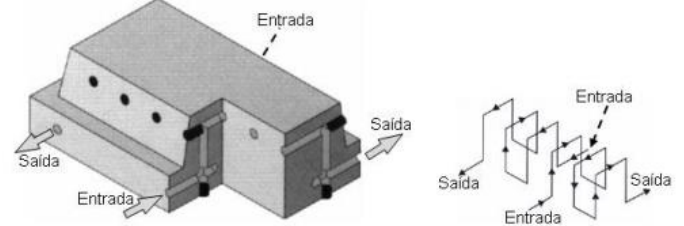
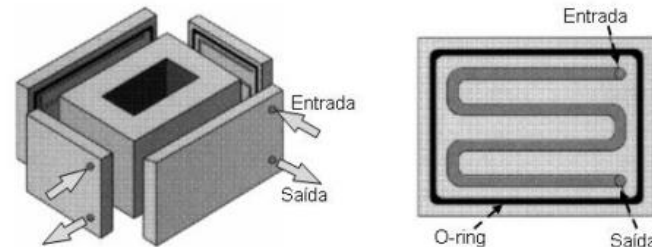
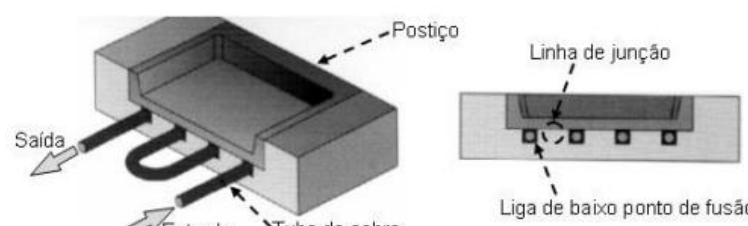
De acordo com Centimfe (2003), a arquitetura do sistema de refrigeração é dependente do perfil da cavidade do molde, podendo assumir várias formas diferentes, sendo classificadas em: normais (usinagem utilizando-se a broca), canais usinados, Bubbler, Baffles, barras refletoras (pino ou inserto condutor), serpentinas (espiral ou helicoidal), tubos transferidores de calor e canais que acompanham o perfil das cavidades dos moldes de injeção (canais obtidos por processo de prototipagem rápida).

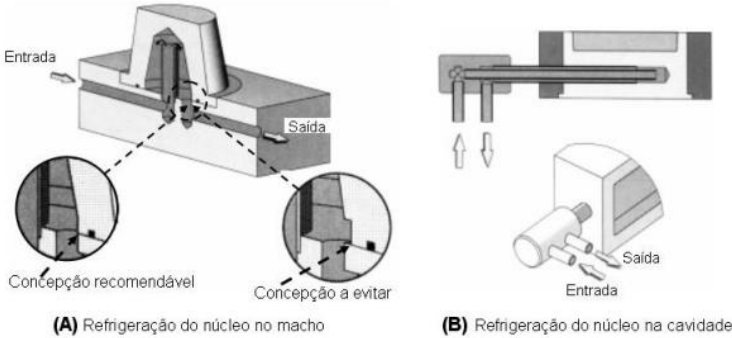
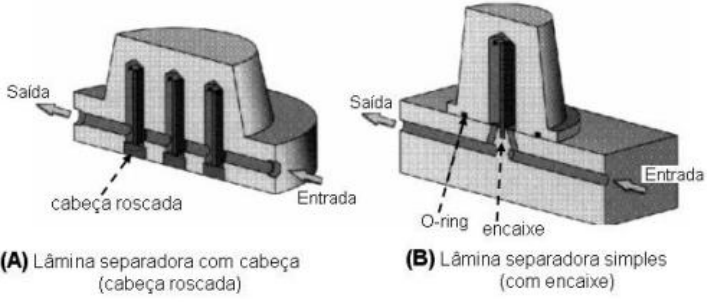
Os sistemas citados dependem de um meio refrigerante para que a troca de calor se efetive. Para tanto podem ser empregados fluidos como a água e o óleo, também não poderia deixar de ser salientado o emprego de substância gasosa e resistências elétricas, considerando-se que esse último, juntamente ao emprego do óleo, são utilizados em determinados materiais que apresentam a necessidade de aquecer o molde durante o processo de injeção (Centimfe, 2003).

Os sistemas provenientes de usinagem, aplicando-se o processo de furação, encontram-se conectados de forma a criar um circuito fechado, ou seja, o fluido circula nas cavidades do molde e retornam ao ponto de partida. Os circuitos desenvolvidos por processo podem ter em um único nível ou em vários, dependendo da altura da moldação e da arquitetura encolhida (Centimfe, 2003).

Os sistemas são especificados (Tabela 1) separadamente, mas podem ser combinados em função da aplicação e da complexidade da peça a ser moldada.

Tabela 1 - Arquiteturas de sistema de refrigeração. (Adaptado de Centimfe, 2003)

Sistema de refrigeração	Exemplo
Furação com circuito em U	 (A) Conexão por furos (B) Conexão por placa (C) Conexão por mangueira
Furação (circuito em “Z”)	 (A) Simétrico Espelhado (B) Simétrico
Furação em placas com alta condutibilidade térmica (Apresentam-se nos circuitos “U” e “Z”)	 Postiços/Cavidades Placa de refrigeração (Ligas de alta condutibilidade térmica) Circuitos “U” e “Z”
Furação (Circuito “usinado direto no postiço”)	 Entrada Saída Entrada Saída
Canal usinado (circuito “placas de refrigeração”)	 Entrada Saída O-ring Saída
Canal com usinado (Circuito com aplicação de tubos de cobre)	 Postiço Saída Entrada Tubo de cobre Linha de junção Liga de baixo ponto de fusão

Bubbler (Circuito em “cascata”)	 (A) Refrigeração do núcleo no macho (B) Refrigeração do núcleo na cavidade
Baffles (Circuito em “cascata”)	 (A) Lâmina separadora com cabeça (cabeça rosçada) (B) Lâmina separadora simples (com encaixe)

O sistema de refrigeração do molde permite consolidar a fase de refrigeração (dissipação de calor da massa moldada) que se encontra inserida no ciclo de injeção de uma peça ou de um conjunto de peças (Figura 2). O processo de refrigeração do molde de injeção tem como finalidade diminuir, de modo rápido e constante, a temperatura da peça moldada até que atinja seu estado sólido. O processo que envolve a fase de refrigeração do molde depende: da temperatura externa da superfície do molde, do ambiente que circunda o molde e do material a ser injetado.

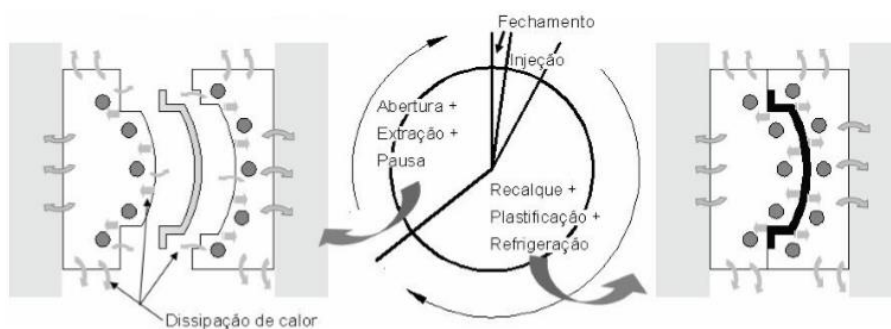


Figura 2 – Ciclo de injeção e dissipação de calor

Segundo Manrich (2005), os sistemas de refrigeração aplicados aos moldes de injeção possuem arquiteturas/circuitos determinadas em função do perfil da cavidade (conforme a superfície externa do produto), ou macho (conforme a superfície interna do produto).

De acordo com Malloy (2000), a fase de resfriamento do produto no molde é, na maioria das vezes, a mais demorada dentre todas as etapas que compõem o ciclo de injeção, tornando-se um dos sistemas mais críticos a serem projetados durante o projeto de um molde.

O controle da velocidade com que ocorre o resfriamento do componente é de suma importância, pois permitirá condições adequadas ao fluxo do material no interior do molde, garantindo o resfriamento do componente moldado. Em consequência, obtém-se o aumento na produtividade em função da redução do tempo do ciclo de injeção, a eliminação de defeitos aparentes e a manutenção das propriedades da matéria-prima usada para formação do componente.

Segundo Harada (2004), a velocidade de refrigeração (troca de calor) do molde é um fator decisivo no desempenho econômico de um molde de injeção, pois define as propriedades da peça e influencia diretamente no tempo do ciclo de injeção.

Ress (1995) faz referência à ocorrência de temperaturas desiguais entre as placas do molde. Essa diferença pode criar deformações nos produtos em função de uma placa quente em relação à placa fria. Essa diferença de temperatura entre as placas fixadas uma à outra, também geram consideráveis forças nas próprias placas, no sistema de alinhamento,

nas guias do molde e nos extratores, que geram desalinhamento na estrutura do molde, necessitando assim, um método mais eficiente de alinhamento.

O sistema de refrigeração tem como principal função o controle da temperatura do molde. Portanto a diferença de temperatura entre as superfícies da cavidade do molde deve encontrar-se entre 2° e 5°C. Nesses parâmetros, a refrigeração do molde torna-se eficiente, possibilitando a redução ou eliminação de possíveis tensões residuais term-induzidas, provenientes do resfriamento desbalanceado. (Harada, 2004)

Para Rees (1995) e Harada (2004), a complexidade relativa ao desenvolvimento e projeto de um sistema de refrigeração eficiente, direciona os projetistas a observarem alguns aspectos que influenciam diretamente no processo de refrigeração, tais como:

- O tipo de polímero e a temperatura de processamento;
- A temperatura uniforme do molde;
- O espaço disponível no molde;
- A forma (perfil) do componente injetado;
- O grau de condutividade térmica dos materiais aplicados junto às cavidades;
- A entrada do canal de refrigeração próximo ao bico de injeção, pois é a região de maior acúmulo de calor;
- O dimensionamento e localização adequada dos sistemas aplicados ao molde;
- As regulagens de parâmetros de processo e
- O acabamento superficial do molde e do produto que se deseja alcançar.

4. SIMULAÇÃO

A simulação numérica tornou-se uma abordagem eficiente para que os projetistas de moldes otimizem os sistemas de alimentação, saída de gases e refrigeração antes que o molde seja construído. Há disponível no mercado softwares de simulação de injeção de termoplásticos, também conhecidos como softwares de CAE – *Computer Aided Engineering*, por exemplo, o Moldflow, Moldex 3D, Planets e 3DSigma (Sacchelli, 2006). Contudo há vários métodos de cálculo disponíveis para a realização da simulação, além de vários resultados e erros de interpretações que são cometidos (Sacchelli, 2007).

Para as simulações deste trabalho foi selecionado o sistema canal usinado (circuito “placas de refrigeração”), onde é empregado a sequência de análise de preenchimento, resfriamento, preenchimento, empacotamento e empenamento (Fill+Cool+Fill+Pack+Warp), com o objetivo de obter resultados de empenamento da peça, e de resfriamento.

O tipo de malha é *dual domain*, que cria a malha de análise na superfície do objeto estudado. O material a ser injetado é polipropileno (PP) H105 da Braskem.

A variação entre as simulações são as seguintes:

- Material do molde (Aço P20 e Alumínio puro);
- Material da placa de refrigeração (Aço P20 e Alumínio puro);
- Distância entre o canal e a peça.

O uso do material P20 foi estabelecido devido a sua grande utilização como material para as cavidades dos moldes de injeção, a condutividade térmica, do aço P20, está de certa forma diretamente ligada à presença de elementos de liga. Determinados elementos químicos, como o Cromo, por exemplo, diminuem significativamente a condutividade do material. Esta relação é inversamente proporcional, sendo que: “normalmente” quanto mais elementos químicos presentes pior será a condutividade. Nesta categoria de aços, os elementos que mais deslocam (diminuindo) a condutividade térmica principalmente são: o Cromo e o Silício, já o Molibdênio, grande formador de carbonetos além de melhorar a resistência mecânica na presença de Cromo e Níquel, melhorando consequentemente a rigidez do material (característica importante para moldes). A escolha do alumínio foi devido a sua grande condutividade térmica, principal característica quando se trata de refrigeração do molde, em média 4,5 vezes maior que de um aço convencional e também a utilização em moldes protótipos.

A forma do componente injetado será usado nas simulações será a de uma caixa (Figura 3) com nove compartimentos, tem 130 mm de largura, 110 mm de altura, 20 mm de profundidade e 2 mm de espessura, sendo cada compartimento com 18 mm de profundidade. A peça conta também com filetes de 3 mm para evitar cantos.

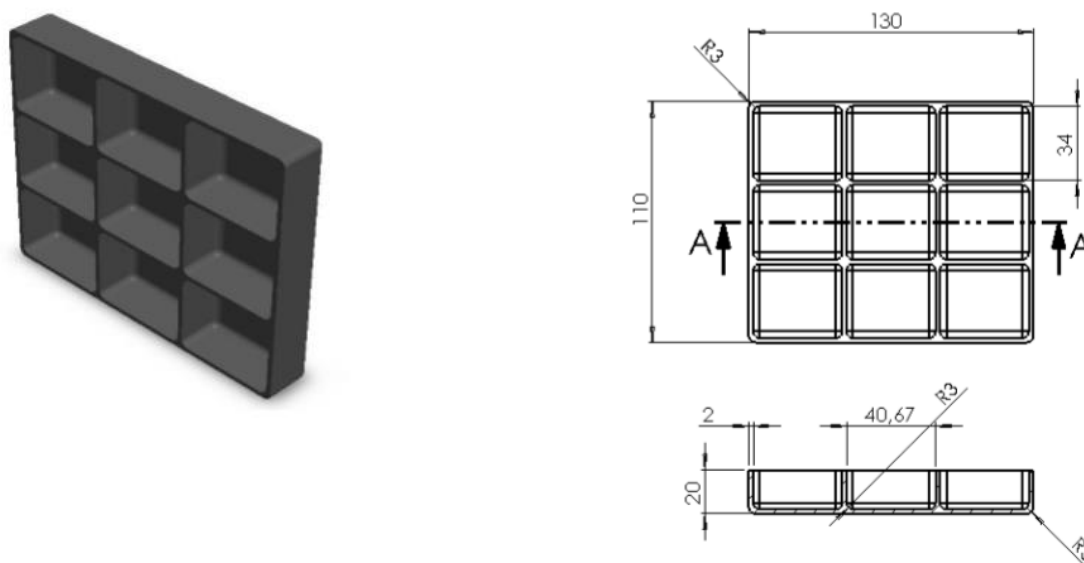


Figura 3 – Forma e dimensão do componente utilizado.

O componente foi modelado no computador em um programa CAD e importado para o Moldflow® em formato STL. Como resultado da criação da malha nesse objeto, obteve-se:

- Tipo de malha = Dual Domain
- Número de nós = 9057
- Número de elementos da barra = 232
- Número de elementos triangulares = 17638

Para a análise no software, os parâmetros de entrada são a temperatura de ejeção, injeção e do molde, além do tempo de abertura do molde e a porcentagem de material que atingiu a temperatura de ejeção (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros de entrada da simulação.

Parâmetros de processo	
Temperatura de Ejeção (°C)	110
Temperatura de Injeção (°C)	230
Temperatura do Molde (°C)	40
Tempo de abertura do molde (s)	5
Porcentagem que atingiu a temperatura de ejeção (%)	95
Temperatura do fluido (°C)	25

A geometria do circuito foi selecionada através de outro estudo já realizado com o mesmo componente, onde foi concluído que o circuito em série se mostra mais eficiente do que o circuito paralelo, um dos motivos é pela vazão do fluido ser muito baixa nos canais em paralelo, já que esses canais recebem todo o fluido pela mesma entrada (BERNER, 2016).

O circuito simulado (Figura 4) nesse outro estudo que apresentou a melhor eficiência teve as seguintes configurações: circuito em série, com diâmetro (D) de 8 mm, profundidade 1 D (diâmetro) e com 8 canais de refrigeração.

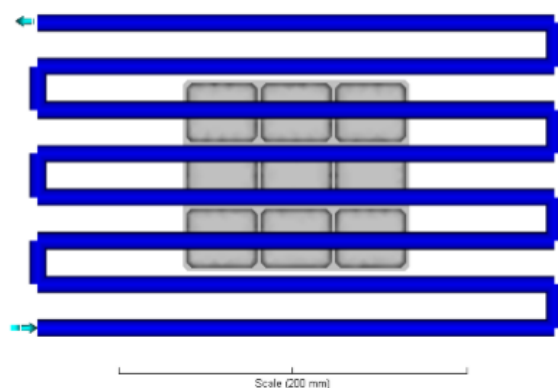
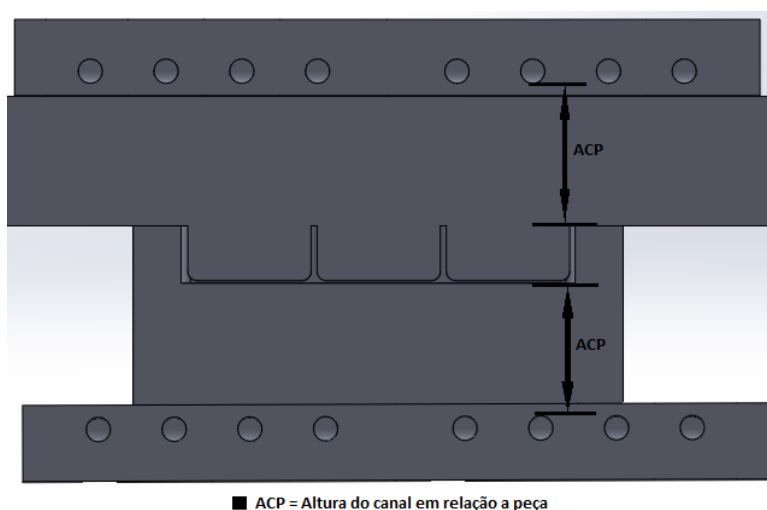


Figura 4 - Configuração em série utilizada na simulação.

A partir desse circuito apresentado como mais eficiente, foi iniciada as simulações com a proposta das placas de refrigeração, variando o material do molde (P20 e Alumínio); material da placa de refrigeração (P20 e Alumínio) e a distância entre o canal e a peça, como representado em um corte da montagem na Figura 5.



■ ACP = Altura do canal em relação a peça

Figura 5 – Corte da montagem do molde em CAD

5. RESULTADOS

Foram realizadas as simulações nas mesmas condições, número de canais, distância entre canais e diâmetro. Os resultados destas simulações estão classificados por tempo de ciclo na Tabela 3 e posteriormente comparados nos Gráficos 1 e 2.

Tabela 3 – Resultados das simulações

Material	Altura em relação à peça (mm)	Tempo de ciclo (s)	Temperatura média (°C)	Contração volumétrica (%)
P20	8	33,34	51,37	11,62
	20	49,91	43,19	11,65
	35	65,6	41,16	11,66
	50	78,50	40,58	11,67
Alumínio	8	19,64	68,2	10,80
	20	20,43	66,70	10,90
	35	21,21	65,43	11,01
	50	21,86	64,49	11,06

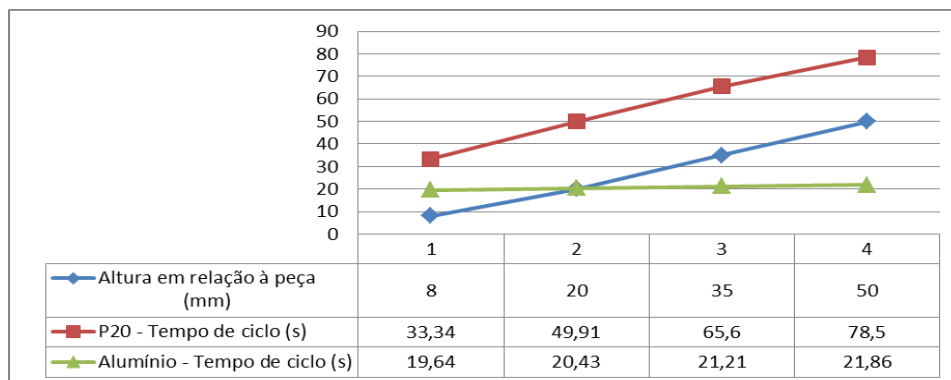


Gráfico 1 – Comparação de tempo de ciclo dos materiais

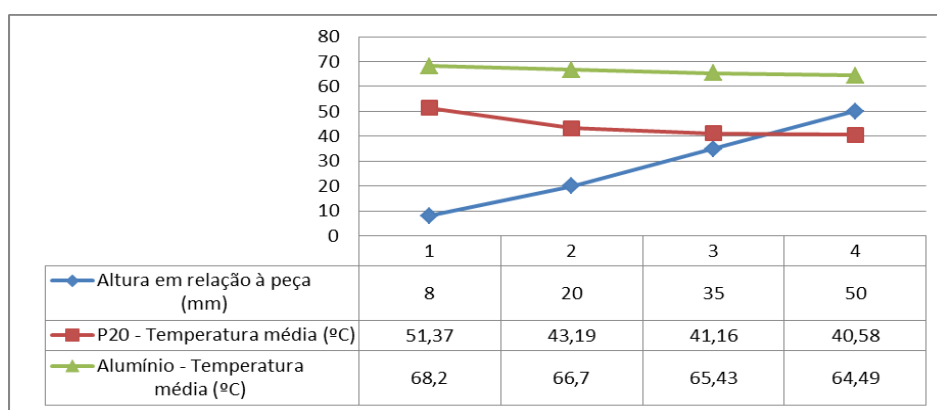


Gráfico 2 – Comparação de temperatura média dos materiais

Como pode ser visto na Tabela 3 e nos Gráficos 1 e 2, a proposta da placa de refrigeração se mostra mais eficiente para o Alumínio quando comparado com o P20, o tempo de ciclo é menor e não apresenta muita variação com o aumento da distância da placa até a peça, devido sua alta condutividade térmica, resultando em um melhor aproveitamento da função de refrigeração do molde. A contração volumétrica dos dois materiais ficou próxima, essa contração é calculada a frente de fluxo de resfriamento, e assim pode-se ver que em diferentes pontos da peça a contração pode variar. Essa variação ou elevado valor de contração pode também ocasionar o empenamento da peça, uma vez que as dimensões geométricas sejam alteradas, já a temperatura média do Alumínio se mostrou maior que do P20, informação relevante do processo na análise das propriedades do material injetado e também influencia o tempo necessário junto com a eficiência da refrigeração do material, que depende da sua condutividade térmica.

6. CONCLUSÕES

Atualmente os canais de refrigeração e a cavidade do produto encontram-se na mesma placa, com isso, para trocar o produto a ser injetado é necessário que seja refeita a placa cavidade e, conseqüentemente, os canais de refrigeração. Separar a cavidade do produto em uma placa e o sistema de refrigeração em outra diminui o tempo de trabalho e os custos, pois somente a placa onde a cavidade se encontra deverá ser feita novamente, quando há a necessidade da troca do produto.

Baseado nos resultados desse trabalho verificou-se que a proposta das placas de refrigeração é possível, apresentando um bom desempenho, com o objetivo de otimizar o processo e os custos. Estudar essa proposta é de grande importância, em relação à combinação entre material do molde e das placas, podendo também como recomendações futuras variar a temperatura do fluido, propriedades do material injetado e vazão do fluido refrigerante.

Desta maneira este trabalho conseguiu demonstrar que a análise do sistema de refrigeração de um molde de injeção é importante e deve ser realizada, pois resulta em ganhos de produtividade no ciclo de injeção.

7. REFERÊNCIAS

- Duleba, B., & Greskovic, F., 2012, “Conformal cooling for plastics injection moulding”. Strojar, 1-5.
- Dimla, D. E., Camilotto, M., & Miani, F., 2005, “Design and optimization of conformal cooling channels in injection moulding tools”, Journal of Materials Processing Technology, 164-165, 1294-1300.
- Ching, Z. L., & Chou, M. H., 2002, “Design of the cooling channels in nonrectangular plastic flat injection mold”, Journal of Manufacturing Systems, 21(3), 107-186.
- Berner, J.A., 2016, “Análise e melhoria do sistema de refrigeração em moldes de injeção de termoplásticos”, TCC - Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville.
- Manrich, S., 2005, “Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes”, São Paulo: Artliber.
- Centimfe, 2003, “Manual do Projectista para Moldes de Injeção de Plástico”, Centro Tecnológica da Indústria de Moldes Ferramentas Especiais e Plásticos (Org.), Marinha Grande, Portugal.
- Malloy, R. A., 2000, “Plastic Part Design for Injection Molding: an Introduction”, New York: Hanser.
- Harada, J., 2004, “Moldes para Injeção de Termoplásticos – Projetos e Princípios Básicos”, São Paulo: Artiber.
- Rees, H., 1995, “Mold Engineering”, Munich; Vienna; New York: Hanser; Cincinnati: Hanser/Gardner.
- Sacchelli, C.M. & Cardoso, C.A., 2007, “Análise da simulação de refrigeração no processo de injeção de termoplásticos”.
- Silva, S.L., 2009, “Sistemática para o projeto do sistema de refrigeração de moldes para injeção de polímeros”.
- Chen, D.; Cheng F., 1999, “Using rapid prototyping and workcell simulation technologies”, Journal of Industrial Technology, Vol. 16.
- Brito, A. M.; Araújo, B.; Sousa, R.; Pontes, A. J., 2004, “Manual do Projectista para Moldes de Injeção de Plásticos”, Vol. 6.

8. DIREITOS AUTORAIS

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

DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGIES IN THERMOPLASTIC INJECTION MOLDS

Lucas Beletatti Avansi, lucasavansi@hotmail.com¹
Carlos Mauricio Sacchelli, carlos.sacchelli@gmail.com¹
Maikol Funk Drechsler, maikoldrechsler@gmail.com¹

¹Federal University of Santa Catarina, Rua Presidente Prudente de Moraes, 406 - Santo Antônio, Joinville - SC, 89218-000,

Summary: *The development of technology without the polymer molding sector is under development, in the quality of application of thermoplastics and standing out, much due to its repeatability and rapid production cycles that produce high productivity. However, for small denominations of parts, the injection process can not be made for the high cost of the mold. The inclusion process contains no heating of the polymer to a working temperature, a heated cylinder and a displacement into the mold with the shapes of the desired parts, where the polymer solidifies the cooling system. The molded part is then extracted from the mold by means of the extraction system. In this cycle the cooling time is of great importance because it is the longest time in the process and therefore a great impact on the production of the process besides influencing the final quality of the product. Thus, this research aims to analyze the refrigeration systems and propose improvements, aiming to increase the efficiency in the production cycle. In this study, we will use MolFlow® computational software that allows a simulation of the whole process, which is possible to optimize the production cycle.*

Keywords: injection, polymer, mold, refrigeration, MolFlow®