

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UMA GEOMETRIA PADRÃO PARA HOMOLOGAÇÃO DE POLÍMEROS PARA COMPONENTES INJETADOS DE PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS

Gabriel Russi da Silva, gabriel.russi@intelbras.com.br¹
Albert Yuri Farias Mylla, albert.mylla@intelbras.com.br¹
Rodrigo Acácio Paggi, rodrigo.paggi@ifsc.edu.br²
Kisa Taho, kisataho@hotmail.com³
Diovani Castoldi Lencina, diovani@ifsc.edu.br³
Aurélio da Costa Sabino Netto, asabino@ifsc.edu.br³

¹Indústria de Telecomunicação Brasileira – Intelbras S/A, Rod. Br 101, km 213, Area Industrial – São José – SC

²Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC, Campus Caçador, Av. Fahdo Thomé, 3000 – Caçador – SC

³Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC, Campus Florianópolis, Av. Mauro Ramos, 950 – Florianópolis – SC

Resumo: O polímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) é um dos materiais mais utilizados na fabricação de componentes de plástico para centrais telefônicas, telefones, segurança eletrônica e centrais condominiais. Dependendo da aplicação final, existem no mercado diversos grades com diferentes grupamentos químicos e aditivos que modificam suas propriedades. O processo de homologação de ABS de um novo fornecedor para ser utilizado por uma empresa com certificação ISO passa por diversas etapas até a aprovação final. Devido a necessidade de realizar ensaios de injeção com um grande número de geometrias de peças, o tempo médio para aprovação de um fornecedor em uma empresa é de, aproximadamente, seis meses, podendo estender-se a um ano. Isto torna-se uma barreira para a diversificação de fornecedores e diminui a competitividade da empresa. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um molde com geometria padrão para auxiliar o processo de homologação de ABS de uma empresa parceira deste projeto. Neste processo adotou-se a metodologia PRODIP. No projeto informacional realizou-se um QFD para identificar as características geométricas (features) mais críticas presentes nos componentes injetados pela empresa. Na composição da geometria padrão foram propositalmente incorporados obstáculos e diferentes espessuras para avaliar a facilidade de preenchimento e defeitos visuais no componente injetado. Para avaliar a eficiência da geometria padrão com variação nos parâmetros de injeção foram realizadas simulações do processo de injeção com software de CAE. Os resultados demonstraram que a geometria proposta permite identificar diferenças de preenchimento com variação dos parâmetros e permitirá auxiliar na redução do tempo de homologação de resinas de ABS pela empresa.

Palavras-chave: ABS, Injeção, PRODIP, Simulação

1. INTRODUÇÃO

A moldagem por injeção é um dos principais processos utilizados para a fabricação de componentes poliméricos. Como em qualquer outro processo produtivo, existe uma série de fatores que influenciam de maneira direta ou indireta nas propriedades finais da peça moldada. As variáveis de controle do processo de injeção, dentre elas as de processo e de máquina quando alteradas, possibilitam a alteração de diferentes características do componente injetado, como: camada solidificada, contração e orientação molecular (Michaeli, 1995). Além dos fatores relativos ao equipamento, o material a ser moldado é um dos fatores que pode influenciar no desempenho final do componente. Os diversos fornecedores de materiais empregam diferentes métodos, formulações e aditivos na produção de seus materiais poliméricos. Muitas vezes, pequenas variações podem representar condições bastante representativas durante a etapa de moldagem do componente. Esta dificuldade pode, em alguns casos, ser superada com ajustes nos parâmetros de injeção empregados e, em casos mais extremos, podem demandar modificações no molde.

O polímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) é um dos materiais mais utilizados na fabricação de componentes de plástico para centrais telefônicas, telefones, segurança eletrônica e centrais condominiais (MARTINS *et al.*, 2014). Pelo ABS ser classificado como uma matéria-prima do tipo *commodity* o seu preço está sujeito a flutuações devido às

variações cambiais e do preço do petróleo no mercado mundial. A diversificação do fornecimento de materiais poliméricos traz vantagens à medida que a concorrência promove a redução do custo da matéria-prima.

Empresas certificadas necessitam que a inclusão de um novo fornecedor deva passar por um processo de homologação. Dependendo dos procedimentos internos da empresa, este processo pode demandar a realização de testes em laboratório e injeção de lotes piloto até a aprovação final. Por conta disto, não é incomum que este tempo exceda seis meses, podendo estender-se a um ano.

Neste sentido, busca-se neste trabalho otimizar o processo de homologação, visando reduzir o tempo e as etapas necessárias para aprovar um novo material. Deste modo, propôs-se uma geometria padrão que englobe as características (*features*) mais críticas e susceptíveis a falhas encontradas no processo produtivo. Logo, será possível aperfeiçoar e, por conseguinte, minimizar o tempo e os testes necessários para validar um novo *grade* deste material. Além disto, um método de homologação de ABS mais eficaz permitiria o aumento do leque de fornecedores deste material. Deste modo elimina-se a dependência a um único fornecedor, logo, permite a empresa negociar com diferentes fornecedores a fim de alcançar o melhor preço sem perder os níveis de qualidade, aumentando assim a sua lucratividade.

2. AVALIAÇÃO DE COMPONENTES MOLDADOS POR INJEÇÃO

Existem diversos testes e geometrias normalizadas que visam avaliar as propriedades mecânicas de materiais poliméricos. Conforme Wasilkoski (2006), os ensaios apresentados no Quadro 1 são comumente utilizados na caracterização do comportamento mecânico de materiais poliméricos.

Quadro 1. Ensaios mecânicos realizados em materiais poliméricos.

Ensaio	Modo de aplicação da força	Norma
Tensão-deformação	Tração	ASTM D638M
Dinâmico-mecânico	Tração	ASTM D5026
Dureza	Compressão	ASTM D2583
Fluência	Tração	ASTM 2990
Impacto	Cisalhamento	ASTM 4272
Relaxação de tensão	Tração	ASTM 2838

Além dos ensaios apresentados, outro bastante utilizado visa medir o comprimento do fluxo injetado. A norma ASTM D3123:2004, determina uma geometria espiral e condições de processamento que possam mensurar de forma padronizada o comprimento de injeção de diferentes materiais. Com este ensaio é possível mensurar a capacidade que o material apresenta para o preenchimento do molde.

Uma limitação que essas geometrias baseadas em corpos de prova trazem é que elas não simulam o produto final, no qual existe uma série de requisitos que devem ser atendidos. Algumas características não podem ser diretamente mensuradas em corpos de prova, tais como: espessura de parede variável, resistência de torres mecânicas (guia e parafusamento), formação de linhas de solda, manchas e rechupes, resistência a queda, dentre outros.

Com base neste fato, diversos autores propuseram geometrias específicas para avaliar o comportamento de componentes injetados. Chen e Lan (2012) propuseram uma geometria no formato de clipe (Fig. 1). A geometria foi utilizada em comparação com outras soluções para *snap-fits* a partir de avaliação da força de aperto exercida. Ozcelik *et al.* (2012) propuseram geometrias para avaliar o efeito de obstáculos com ângulos de entrada de 0°, 15° e 45° no surgimento de linhas de solda. O trabalho evidenciou que a geometria com 15° apresenta o melhor desempenho, embora muito próximo à geometria de 45° e um pouco mais distante à geometria de 0°. No entanto, indiferente da geometria, obstáculos foram geradores de linhas de solda e, por conseguinte, prejudiciais a resistência à tração e ao impacto das peças injetadas. Song *et al.* (2007) realizaram estudos com geometria na qual a espessura de parede varia de 3mm até o mínimo de 0,2mm (paredes ultrafinas) (Fig. 2). O estudo revelou que a obtenção de paredes finas possui forte dependência da velocidade de injeção e, em segundo plano, da temperatura de processamento e pressão de injeção.

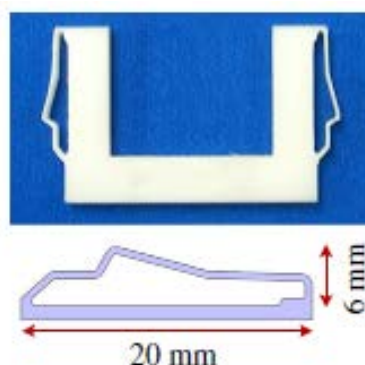


Figura 1. Geometria para avaliação de *snap-fit* (Adaptado de Chen e Lan, 2012).

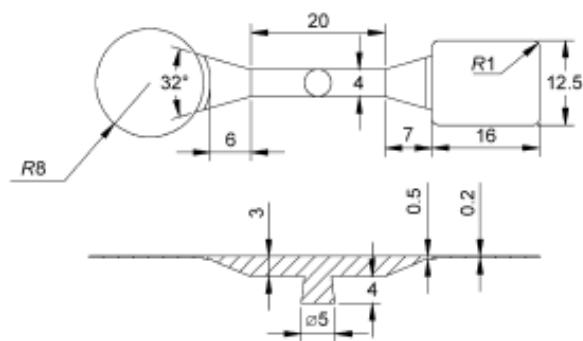


Figura 2. Geometria para avaliação de injeção em paredes finas (Song et al., 2007).

A empresa americana ProtoLabs, desenvolveu em 2012, cubos injetados com diversas features (Fig. 3). Inicialmente esses cubos foram desenvolvidos como ferramenta de marketing da empresa, no entanto, tornou-se um exemplo bastante representativo no estudo do processo de moldagem por injeção de polímeros visto que engloba em suas diferentes geometrias regiões de paredes espessas e finas, torres de parafusamento, *snap-fits*, diferentes texturas, nervuras e pinos guias.

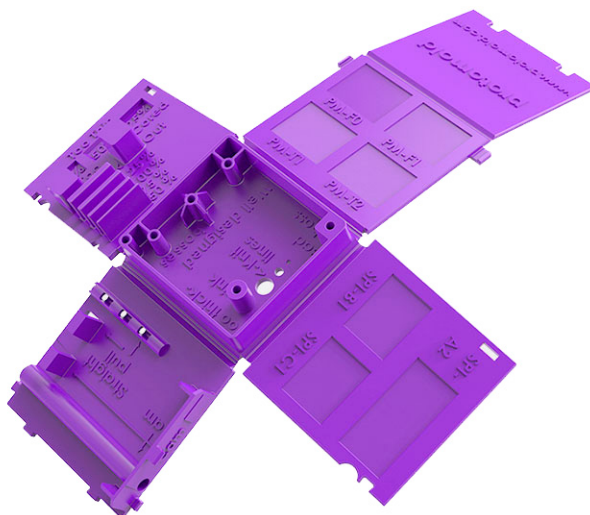


Figura 3. Cubo desenvolvido pela Protolabs.

3. DESENVOLVIMENTO DA GEOMETRIA PADRÃO

O desenvolvimento da geometria padrão foi baseado no uso de ferramentas de projeto sugeridas na metodologia PRODIP (BACK, 2008). A maioria das referências bibliográficas em desenvolvimento de produto concorda que a definição das especificações de um projeto deve ser baseada nas necessidades dos clientes. Como a empresa parceira produz 203 componentes diferentes, cada qual apresentando variadas *features*, foi realizado um levantamento inicial das principais *features* presentes nestes componentes. Para quantificar a importância de cada requisito de projeto para a composição da geometria padrão utilizou-se o QFD (*Quality Function Deployment*).

Com base no resultado do QFD deu-se início ao projeto CAD (*Computer Aided Design*) da geometria. Neste processo foram impostas algumas restrições de projeto principalmente relacionadas à máquina injetora disponível para a realização dos estudos de injeção (Tab. 1).

Tabela 1. Especificações da injetora Arburg 370E – Euromap 170.

Especificação	Unidade
Diâmetro da rosca	30 mm
Distância entre colunas	370 mm
Volume de injeção	85 cm ³
Força de fechamento	600 kN
Pressão máxima de injeção	2000 bar

Para gerar a geometria final, Fig. 4, foi realizada uma análise de compromisso, pois não foi possível contemplar todas as características em função dos custos de fabricação do molde e das restrições em função do molde. Deste modo a geometria final contempla as seguintes *features* e características:

- Torre cilíndrica vazada (diâmetro externo 12mm, diâmetro interno 10 mm e altura 6 mm): geometria utilizada para o encaixe de componente eletrônico, item crítico devido a contração do material após injetado.
- Nervura com diferentes espessuras (altura 9,5 mm, largura 2 mm, 1,5 mm, 1,0 mm e 0,7 mm) foram incluídas a fim de validar empenamento, rechupe, preenchimento e espaçamento mínimo entre estas
- Torres de fixação (2 torres de parafusamento e 2 pinos guia: espessura das nervuras de 2mm e 1mm): validação da resistência do ABS quando submetido a esforços mecânicos a fim de validar as vantagens e desvantagens entre cada uma das soluções propostas
- *Snap-fits* foram inclusos tendo em vista a fixação de placas de circuito impresso e a resistência mecânica desta *feature* quando submetida a esforços mecânicos.
- Recorte laterais (altura 9,5mm) diferentes espessuras (1,0 mm, 1,5 mm e 2,0 mm) que visam validar o preenchimento, formação de linhas de solda e a aparição de rebarbas
- Variação na espessura da parede: Degraus positivos e degraus negativos (0,5 mm 1,0 mm e 1,5 mm) foram inseridos com a finalidade de analisar o preenchimento, a aparição de rechupes e *pressing marks*
- Obstáculos: Adição de obstáculo circular (solução mais aplicada na empresa parceira) e retangular (geometria crítica para o preenchimento) a fim de validar o preenchimento, formação de linhas de solda e rebarba
- Dimensional da peça: largura 100 mm, comprimento 60 mm, altura 20 mm, espessura de parede padrão 2 mm.

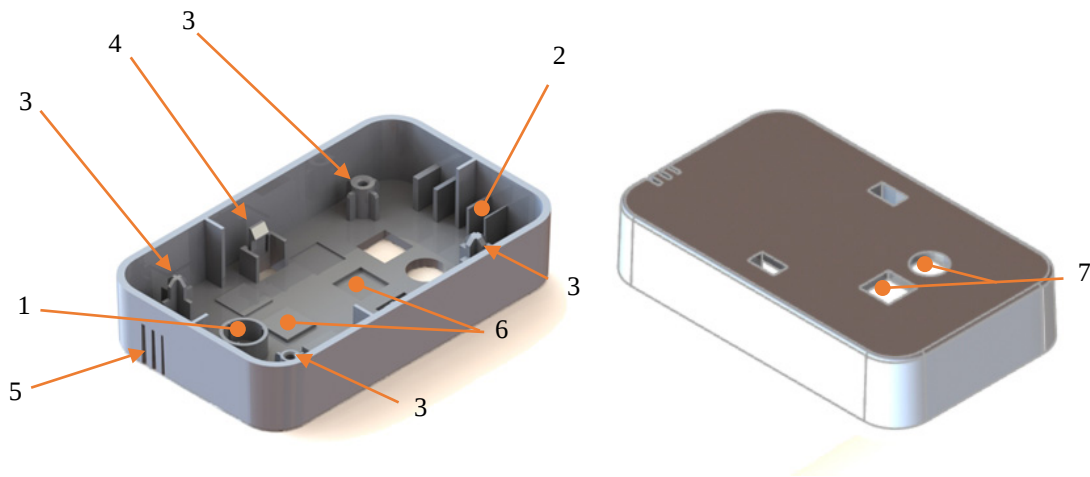


Figura 4. Geometria padrão.

Além das características da geometria, citadas a cima, um fato importante é alimentação na região lateral (Fig. 5), essa opção permite que a uma injeção heterogênea, em outras palavras, durante o processo certas regiões sofrem o processo de compactação (lateral oposta) enquanto outras ainda não foram preenchidas (região próxima as nervuras) o que favorece o surgimento de rebarbas e a falta de preenchimento das regiões críticas. Outro fato relevante é o posicionamento da entrada do fluxo estar localizado na borda da peça final, esse fato favorece o surgimento de marcações conhecidas como *jet marks*. Por fim, o canal de alimentação está igualmente espaçado das geometrias críticas, o que possibilita avaliar as variações de espessuras independente desta variável.

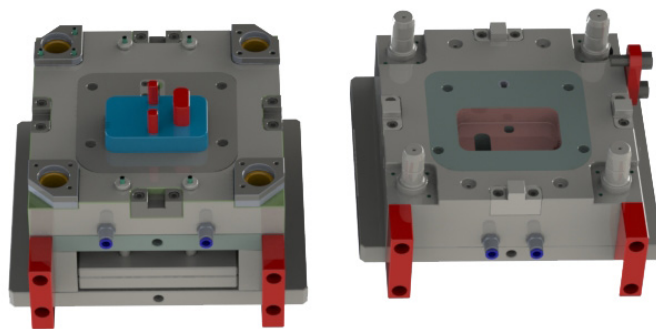


Figura 5. Molde projetado.

4. Materiais e Métodos

Para avaliar de forma preliminar a geometria proposta foram realizadas simulações do processo de injeção utilizando o software SolidWorks Plastics 2015. Foram modelados os canais de alimentação e arrefecimento conforme solução adotada no projeto do molde de injeção (Fig. 6). Para as simulações empregou-se como material um ABS genérico e realizadas análises de preenchimento, recalque e empenamento com os parâmetros listados na tabela 2.

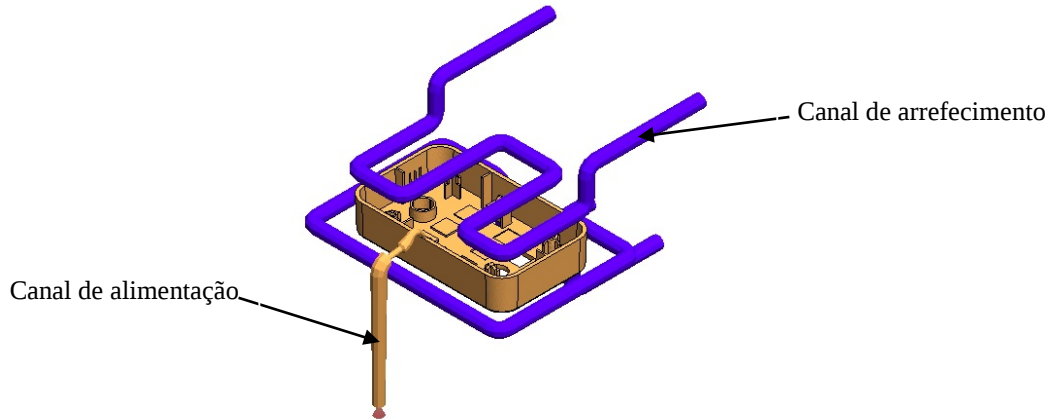


Figura 6. Detalhe dos canais de alimentação e arrefecimento do molde projetado.

Tabela 2. Parâmetros utilizados na simulação do processo de injeção.

Parâmetro	Valor adotado
Temperatura de injeção	240°C
Temperatura do molde	60°C
Vazão de injeção	20%
Percentual de preenchimento na comutação	100%
Perfil de recalque	0-4s (80%) / 4-8s (40%)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Simulações do processo de injeção

Através da simulação obteve-se as condições iniciais para o processamento na máquina injetora. Apesar da peça possuir regiões com espessuras menores todas as regiões puderam ser preenchidas com um tempo inferior a 2s (Fig. 7a). Para o preenchimento total da peça foi necessária uma pressão de aproximadamente 73,5 MPa que é menos da metade da pressão máxima disponível na máquina injetora (Fig. 7b).

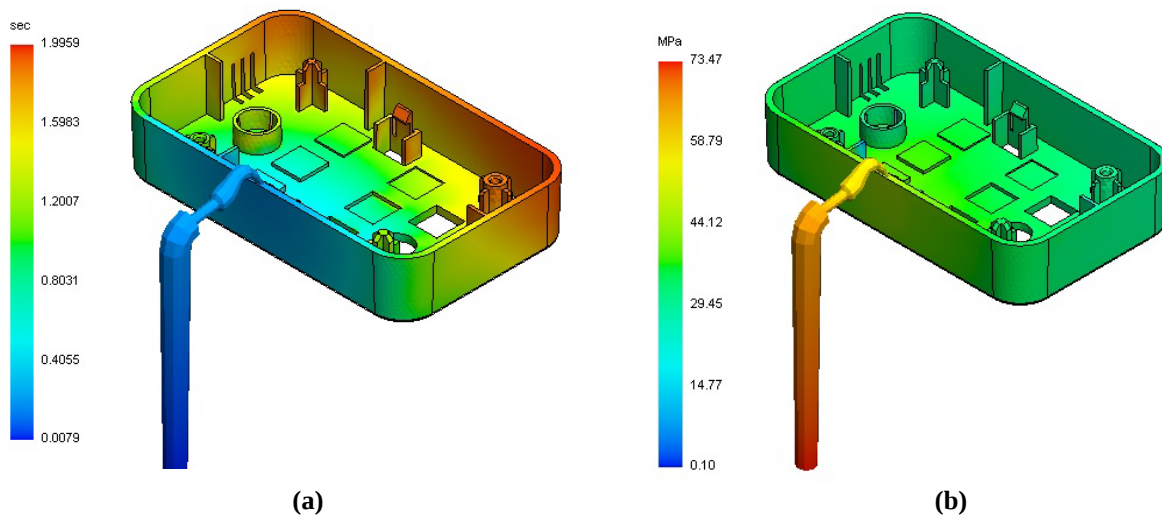


Figura 7. Resultado do tempo de preenchimento (a) e da pressão de injeção (b).

A partir da simulação também foi possível avaliar os fenômenos de rechupe e empenamento. Na figura 8a, percebe-se claramente nas regiões indicadas a presença de rechupes. A intensidade da coloração é proporcional ao recesso observado na superfície da peça (verde). Também pode-se notar na região da onde estão localizadas as nervuras com diferentes espessuras que os rechupes não foram significativos. A figura 8b apresenta o empenamento total da peça ficou abaixo de 0,6 mm. O empenamento foi maior nas laterais da peça e poderá ser posteriormente comparado com dados experimentais.

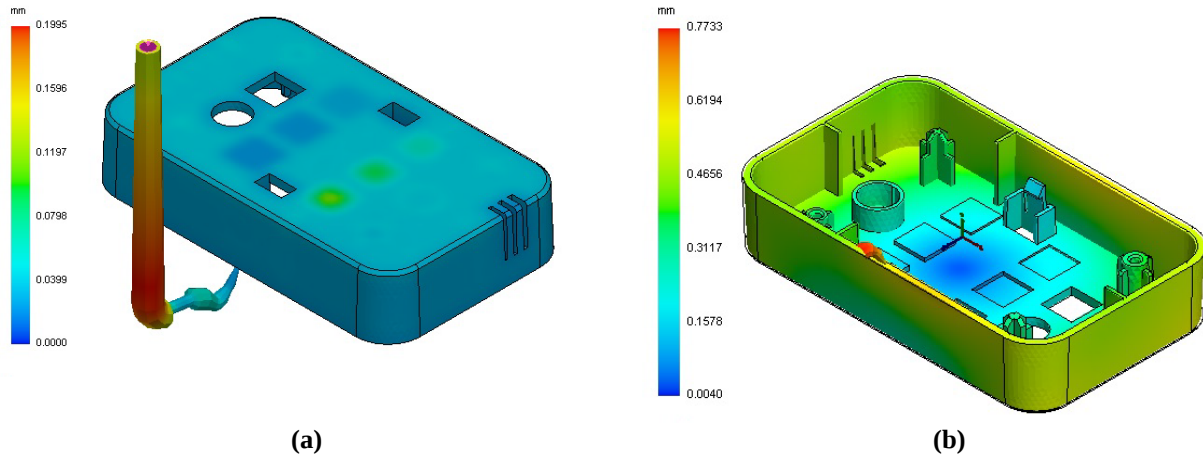


Figura 8. Resultado da formação de rechupes (a) e empenamento (b).

Outra informação relevante é o posicionamento das linhas de solda decorrentes do processo de preenchimento da cavidade do molde. Propositalmente a geometria foi criada para potencializar o aparecimento deste tipo de defeito. A figura 9 destaca as regiões da peça nas quais surgiram linhas de solda. É possível em alguns casos através da variação de parâmetros de processamento minimizar este tipo de defeito sem a necessidade de retrabalho do molde.

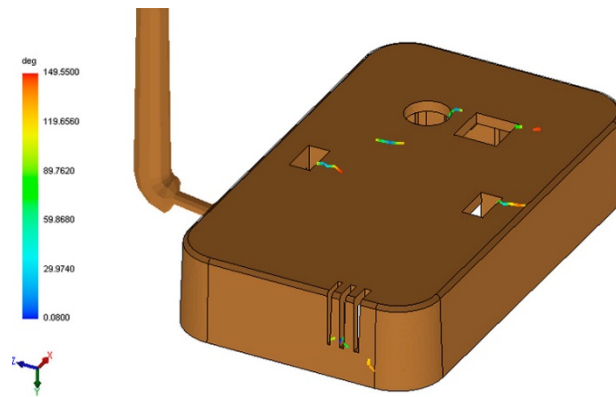


Figura 9. Linhas de solda geradas durante o preenchimento da cavidade.

O software SolidWorks Plastics permite monitorar localmente, ao longo do tempo, a variação da temperatura e da pressão no interior da cavidade. Estas informações são cruciais para entender o processo de preenchimento, servindo de base para otimizar o processamento do material. Estas curvas também possibilitam comparar diferentes materiais servindo de base para controle de qualidade das peças injetadas. As figuras 10a e 10b mostram respectivamente as curvas de temperatura vs tempo e pressão na cavidade vs tempo obtidas através das simulações. Com a instrumentação do molde com sensores de temperatura e pressão será possível comparar estes dados com dados reais obtidos com a injeção da peça.

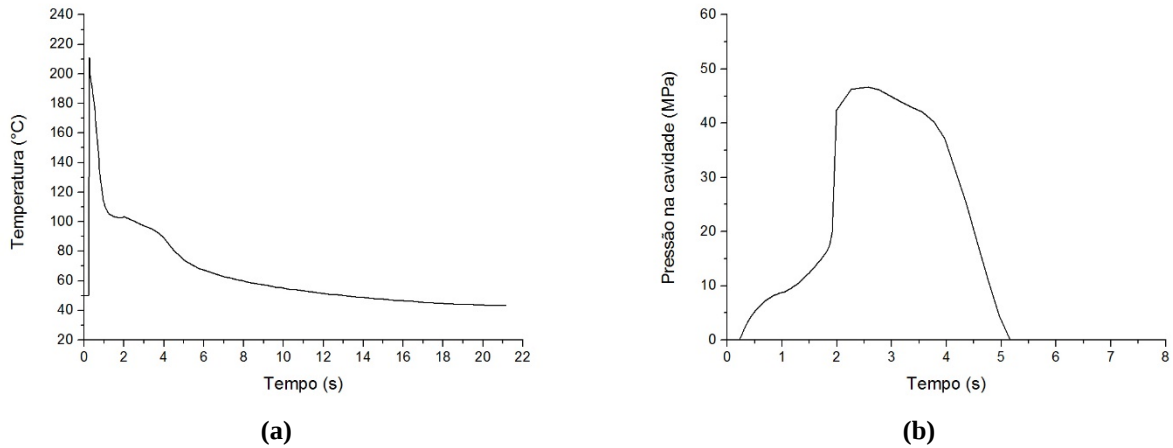


Figura 10. Resultado da temperatura (a) e pressão (b) na cavidade.

5.2 Avaliação preliminar de componentes injetados

Foi realizado uma avaliação preliminar durante o *try-out* do molde produzido com injeção de ABS. Na oportunidade buscou-se analisar o preenchimento em função do aumento da pressão de injeção e identificação de linhas de solda (Fig. 11). A sequência de preenchimento ilustra o processo de avanço da frente de fluxo em função do aumento da pressão de injeção (bar). Para completar a peça são geradas diversas linhas de solda que servirão para refinar parâmetros de injeção empregados.

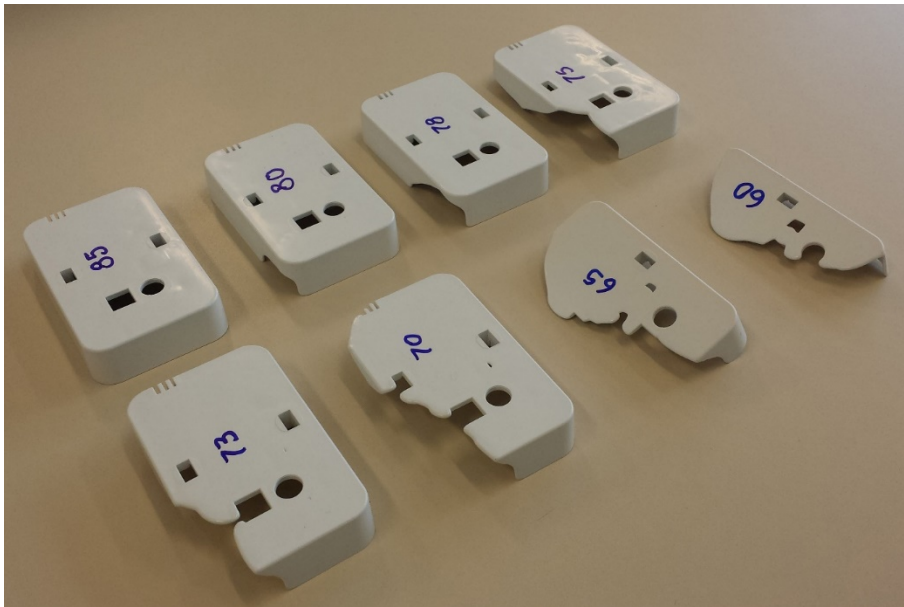


Figura 11. Avaliação do preenchimento durante o *try-out* com geometria padrão.

Além das linhas de solda, pode-se verificar na avaliação preliminar que a geometria gerou defeitos esperados que permitirão comparar diferentes fornecedores de ABS. Na Figura 12 são ilustrados defeitos de falta de preenchimento e de queima decorrente do efeito Diesel.

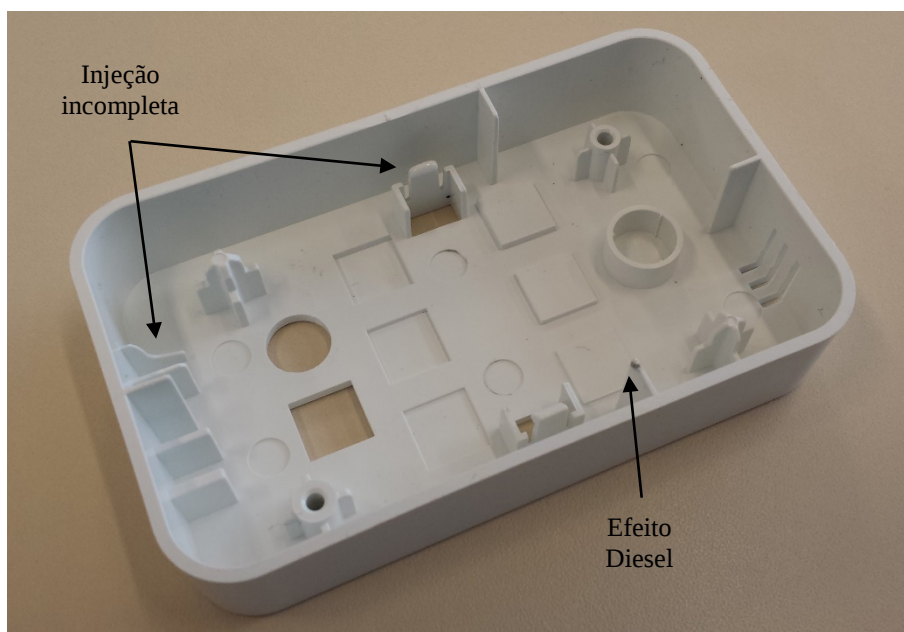


Figura 12. Problemas identificados na injeção da geometria padrão.

6. CONCLUSÕES

A partir de estudo com base em *features* presentes em componentes de equipamentos eletro-eletrônicos moldados em ABS foi proposta uma geometria padrão para avaliação de diferentes fornecedores de ABS. A partir das análises obtidas através do software SolidWorks Plastics e na avaliação preliminar de componentes injetados, verificouse-se que a geometria desenvolvida neste trabalho atende aos requisitos propostos para avaliação de componentes plásticos moldados em ABS. As diferentes *features* presentes servirão como atributos para estudos comparativos entre diferentes grades de ABS. Com a instrumentação do molde este trabalho terá sequência com a realização de estudos experimentais para comparação com dados obtidos com a simulação CAE.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq/SETEC/MEC e a empresa Intelbras SA pela parceria neste projeto. Ao Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC campi Caçador e Florianópolis pela disponibilização das instalações e alocação de carga horária aos pesquisadores e técnicos.

REFERÊNCIAS

- Back, N.; Ogliari, A.; Dias, A.; Silva, J. C., 2008, Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. Ed. Manole, Barueri, Brasil, 601p.
- Chen, I; Lan, C., 2012, "Design of a constant-force snap-fit mechanism for minimal mating uncertainty", Mechanism and Machine Theory, Vol. 55, pp. 34-50.
- Martins, P. A.; Valera, T. S. e Tenório, J. A. S., 2014, "Estudo de sistemas retardantes de chama sem bromo para ABS". Polímeros, Vol. 24, No. 5, pp. 572-578.
- Michaeli, W., 1995, "Plastics Processing: An Introduction". Hanser Gardner Publishers, München, Germany.
- Ozcelik, B.; Kuram, E.; M. Topal, M., 2012, "Investigation the effects of obstacle geometries and injection molding parameters on weld line strength using experimental and finite element methods in plastic injection molding", International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 39, No. 2, pp. 275-281.
- ProtoLabs, 2012, Design Moldability: Proto labs Design Cube, Minnesota, United States.
- Song, M.C.; Liu, Z.; Wang, M.J.; Yu, T.M.; Zhao, D.Y., 2007, "Research on effects of injection process parameters on the molding process for ultra-thin wall plastic parts", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 187-188, pp. 668-671.
- Wasilkoski, C. M., 2006, Comportamento Mecânico dos Materiais Poliméricos, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A STANDARD GEOMETRY FOR POLYMER APPROVAL FOR COMPONENTS INJECTED OF ELECTRONICS PRODUCTS

Gabriel Russi da Silva, gabriel.russi@intelbras.com.br¹
Albert Yuri Farias Mylla, albert.mylla@intelbras.com.br¹
Rodrigo Acácio Paggi, rodrigo.paggi@ifsc.edu.br²
Kisa Taho, kisataho@hotmail.com³
Diovani Castoldi Lencina, diovani@ifsc.edu.br³
Aurélio da Costa Sabino Netto, asabino@ifsc.edu.br³

¹Indústria de Telecomunicação Brasileira – Intelbras S/A, Rod. Br 101, km 213, Area Industrial – São José – SC

²Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC, Campus Caçador, Av. Fahdo Thomé, 3000 – Caçador – SC

³Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC, Campus Florianópolis, Av. Mauro Ramos, 950 – Florianópolis – SC

Abstract. *The acrylonitrile butadiene styrene (ABS) is one of the most used materials in the manufacture of plastic components for telephones, telephone switches and electronic security. Depending on the final application, there are several ABS grades in the market with different chemical groups and additives that modify their properties. The ABS approval process for a new supplier to be used by a company with ISO certification goes through various stages until final approval. Because the need for injection molding testing with a large number of part geometries, the average time for approval of a supplier in a company is approximately six months and may be extended to one year. This becomes a barrier to the diversification of suppliers and reduces the competitiveness of the company. The aim of this study was to develop a mold with standard geometry to assist the ABS approval process of a company partner of this project. In this process was adopted the methodology PRODIP. In the informational project was carried out a QFD to identify the most critical features present in parts injected by the company. In the composition of the standard geometry different obstacles were purposely built in different thicknesses to evaluate the ease of filling and visual defects in the injected parts. To evaluate the efficiency of the standard geometry proposed, under variation in injection parameters, were performed simulations of the injection process by CAE software. The results demonstrated that the geometry proposed allows to identify differences on filling of parts by varying process parameters. This will help to reduce the time of approval of ABS resins by the company.*

Keywords: ABS, injection molding, PRODIP, Simulation.